

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Procesamiento de parámetros físicos e inventario de emisiones
atmosféricas antropogénicas en la cuenca hidrográfica del río
Napo**

Facundo Matías Palermo Zeballos

René Parra, Ph.D., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Ambiental

Quito, septiembre de 2014

Universidad San Francisco de Quito.

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Procesamiento de parámetros físicos e inventario de emisiones
atmosféricas antropogénicas en la cuenca hidrográfica del río
Napo**

Facundo Matías Palermo Zeballos

René Parra, Ph.D.

Director de Tesis y

Miembro del Comité de Tesis

.....

María del Carmen Cazorla, Ph. D.

Miembro del Comité de Tesis

.....

Andrea Encalada, Ph.D.

Miembro del Comité de Tesis

.....

Ximena M. Córdova Vallejo, Ph.D.

Decana de la Escuela de Ingeniería

Colegio de Ciencias e Ingeniería

.....

Quito, septiembre de 2014

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Facundo Matías Palermo Zeballos

C. I.: 171439581-9

Fecha: Quito, septiembre de 2014

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia, sobre todo a mi madre y a mi hermana, así como a mis amigos, por toda su por su apoyo a lo largo de mi vida universitaria. Agradezco de manera muy especial a mis profesores y compañeros de Ingeniería Ambiental por su ayuda a lo largo de mi carrera.

Agradezco también al Instituto Geográfico Militar, al Instituto de Meteorología e Hidrología del Ecuador, a la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, a la empresa EP Petroecuador y a su personal, al Ministerio del Ambiente y al departamento de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad San Francisco de Quito por los datos provistos.

Finalmente, agradezco a René Parra, PhD. por su paciencia y apoyo a lo largo de la elaboración de este documento y a Andrea Encalada PhD. por permitirme trabajar apoyando al Peer Project.

Resumen

En el presente estudio se estableció una línea base de los parámetros físicos de temperatura, radiación solar, velocidad y dirección del viento, para ser utilizados en diversos modelamientos en la cuenca hidrográfica del río Napo. Para este propósito se utilizaron los resultados del modelo Weather Research and Forecasting (WRF) para el año 2012. Los resultados del modelo fueron validados utilizando registros del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). La comparación indicó que los resultados del modelo WRF reproducen aceptablemente la configuración espacial y temporal de los parámetros meteorológicos, y por lo tanto pueden ser utilizados para modelamiento.

Adicionalmente, se realizó un inventario de emisiones de fuentes antropogénicas de los contaminantes primarios (NO_x , CO, COV, SO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) y de CO_2 , para la cuenca hidrográfica del río Napo, tomando como referencia el año 2012. Las fuentes analizadas fueron las plantas de generación eléctrica, el tráfico vehicular, las gasolineras y la refinería Amazonas y Planta de Gas. Los resultados mostraron que la fuente de mayor contaminación fue la generación de energía eléctrica con el 71.92% de las emisiones de NO_x , 11.16% de CO, 41.28% de COVs, 93.33% de SO_2 , 53.38% de PM_{10} , y 67.69% de CO_2 . Las emisiones provenientes del tráfico vehicular fueron significativas, aportando el 27.91% de los NO_x , 88.83% de CO, 44.07% de COVs, 3.04% de SO_2 , 46.20% de PM_{10} , y 29.65% de CO_2 . La refinería Amazonas y Planta de Gas presentó aportes menores; la misma aportó el 0.17% de las emisiones de NO_x , 0.01% de CO, 3.72% de COVs, 3.62% de SO_2 , 0.43% de PM_{10} , y 0.91% de CO_2 . Finalmente, el 9.23% de las emisiones de COVs provinieron de las emisiones evaporativas de las gasolineras.

Este es el primer inventario de emisiones atmosféricas que se desarrolla para la cuenca hidrográfica del río Napo y por ello constituye un hito importante para estudios ambientales de mayor alcance.

Abstract

In the present study a baseline was established for the physical parameters of temperature, solar radiation, wind speed and direction, to be used for modeling in the Napo River Basin, in Ecuador. For this purpose, the results of the Weather Research and Forecasting (WRF) model for 2012 were used. The results obtained from the model were validated using records from the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI). The comparison indicated that the WRF model results adequately reproduce the spatial and temporal configuration of the meteorological parameters, and therefore can be used for modeling.

Additionally, an inventory of primary pollutants from emissions by anthropogenic sources (NO_x , CO, VOC, SO_2 , PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$) and of CO_2 , was elaborated for the Napo River Basin, taking as reference the year 2012. The analyzed sources were electrical power plants, vehicular traffic, gas stations and the Amazonas refinery and Planta de Gas. The results showed that the most significant source of pollution was that of electrical power generation, representing 71.92% of NO_x , 11.16% of CO, 41.28% of VOCs, 93.33% of SO_2 , 53.38% of PM_{10} , and 67.69% of CO_2 emissions. The emissions generated from vehicles were significant, contributing with 27.91% of NO_x , 88.83% of CO, 44.07% of VOCs, 3.04% of SO_2 , 46.20% of PM_{10} , and 29.65% of CO_2 emissions. The Amazonas and Planta de Gas refinery presented lower contributions; it contributed with 0.17% of NO_x , 0.01% of CO, 3.72% of VOCs, 3.62% of SO_2 , 0.43% of PM_{10} , and 0.91% of CO_2 emissions. Finally, 9.23% of VOC emissions resulted from evaporative emissions generated by gas stations.

This is the first atmospheric emissions inventory that has been developed for the Napo River Basin, and due to this, it constitutes an important milestone for environmental studies of wider scope.

Tabla de Contenidos

1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 ANTECEDENTES	14
1.2 OBJETIVOS.....	19
1.1.1 <i>Objetivo general</i>	19
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	19
3. MARCO TEÓRICO	20
3.1. MODELAMIENTO	20
3.2. VARIABLES METEOROLÓGICAS	20
3.2.1 <i>Temperatura</i>	20
3.2.2 <i>Radiación solar</i>	21
3.2.3 <i>Precipitación</i>	22
3.2.4 <i>Velocidad y dirección del viento</i>	22
3.3. INVENTARIO DE EMISIONES	24
3.3.1 <i>Emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero</i>	25
3.3.2 <i>Emisiones antropogénicas de contaminantes primarios</i>	27
3.4. FUENTES ANTROPOGÉNICAS DE CONTAMINANTES PRIMARIOS DEL AIRE Y GASES DE EFECTO INVERNADERO	29
3.4.1 <i>Generadoras eléctricas</i>	29
3.4.2 <i>Refinerías</i>	31
3.4.3 <i>Gasolineras</i>	34
3.4.4 <i>Tráfico vehicular</i>	35
3.5. USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL ECUADOR	36
4. METODOLOGÍA	37
4.1. SOFTWARE	37
4.2. DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	37
4.3. PARÁMETROS FÍSICOS.....	40
4.3.1. <i>Recopilación de información</i>	40
4.3.2. <i>Validación de los resultados de temperatura del modelo WRF</i>	42
4.3.3. <i>Procesamiento de datos</i>	43
4.4. MODELO DE EMISIONES	43
4.4.1. <i>Emisiones del tráfico vehicular</i>	44
4.4.2. <i>Emisiones de gasolineras</i>	49
4.4.3. <i>Emisiones de generadoras eléctricas</i>	51
4.4.4. <i>Emisiones de refinería</i>	54
4.4.5. <i>Ubicación de las fuentes consideradas dentro de la zona de estudio</i>	56

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES	57
5.1 PARÁMETROS FÍSICOS	57
5.1.1 <i>Radiación solar</i>	59
5.1.2 <i>Temperatura, dirección y velocidad del viento</i>	66
5.2 INVENTARIO DE EMISIONES	73
5.2.1 <i>Tráfico vehicular</i>	73
5.2.2 <i>Análisis y discusión acerca del tráfico vehicular</i>	76
5.2.3 <i>Resultados de generadoras eléctricas</i>	79
5.2.4 <i>Análisis y discusión acerca de las emisiones de generadoras eléctricas</i>	79
5.2.5 <i>Resultados de gasolineras</i>	82
5.2.6 <i>Resultados de la refinería</i>	83
5.2.7 <i>Análisis y Discusión acerca de las emisiones totales</i>	85
5.3 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DEL INVENTARIO DE EMISIONES.....	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	96
ANEXO A	103
ANEXO B	129
ANEXO C	131
ANEXO D	137

Índice de Tablas

TABLA 1: EMISIONES DE CANTONES DEL ECUADOR ($t\ a^{-1}$). (MAE, 2013).....	17
TABLA 2: CONSUMO DE COMBUSTIBLE UTILIZADO PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA AÑO 2012 (CONELEC, 2012).	31
TABLA 3: FRACCIONES DE CRUDO EN FUNCIÓN DE NÚMERO DE ÁTOMOS DE CARBONO EN LA MOLÉCULA (ARELLANO, 2013).	32
TABLA 4: DESPACHO ANUAL POR COMBUSTIBLES PARA PROVINCIAS EN ZONA DE ESTUDIO AÑO 2012 (ARELLANO, 2013).	36
TABLA 5: CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTIBLES UTILIZADAS PARA CÁLCULO DE EMISIONES DEL TRÁFICO VEHICULAR (EP PETROECUADOR, 2012).	46
TABLA 6: PODER CALORÍFICO DE LOS COMBUSTIBLES EN EL ECUADOR (MAE, 2012).	52
TABLA 7: PODER CALORÍFICO REFERENCIAL DE COMBUSTIBLES Y ENTRADAS DE REFINERÍA (IPCC, 2006).	55
TABLA 8: FACTORES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES COMUNES PARA PLANTAS DE GAS NATURAL (EPA, 1995).	56
TABLA 9: CONSUMO DE COMBUSTIBLE TEÓRICO, REAL Y DIFERENCIA PORCENTUAL PARA PARQUE VEHICULAR DE 92 871 VEHÍCULOS.	73
TABLA 10: EMISIONES DE CONTAMINANTES O GEI PROVENIENTES DEL TRÁFICO VEHICULAR.	77
TABLA 11: CONSUMO DE COMBUSTIBLES Y EMISIONES DE CONTAMINANTES PROVENIENTES DE GENERADORAS ELÉCTRICAS PARA EL AÑO 2012 EN LA ZONA DE ESTUDIO (CONELEC, 2012).	80
TABLA 12: EMISIONES DE LA REFINERÍA AMAZONAS Y PLANTA DE GAS.	83
TABLA 13: COMPARACIÓN EMISIONES DE CONTAMINANTES PRIMARIOS DEL AIRE DE LA REFINERÍA AMAZONAS Y PLANTA DE GAS CON REFINERÍA DE IQUITOS.	83
TABLA 14: COMPARACIÓN EMISIONES DE CO_2 DE LA REFINERÍA AMAZONAS Y PLANTA DE GAS CON REFINERÍAS EUROPEAS.	84
TABLA 15: EMISIONES TOTALES DE CONTAMINANTES PRIMARIOS DEL AIRE, Y CO_2 , PARA LA ZONA DE ESTUDIO.	85
TABLA 16: VALORES DE EMISIÓN PER CÁPITA POR CANTONES O JURISDICCIÓN (MAE, 2013).	90
TABLA 17: MATRIZ DE CALIFICACIÓN DE INCERTIDUMBRE PARA EMISIONES.	91
TABLA 18: VALORACIÓN CUALITATIVA DE INCERTIDUMBRE ASOCIADA A ATRIBUTOS DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO NAPO PARA EL AÑO 2012.	92

Índice de Figuras

FIGURA 1: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. 1.1 ECUADOR (ZONA COLOR ROJO) EN SUDAMÉRICA, 1.2 CUENCA DEL RÍO NAPO (ZONA COLOR VIOLETA) EN ECUADOR.	14
FIGURA 2: ESQUEMA VIENTOS CATABÁTICOS Y ANABÁTICOS (SENDIÑA, 2006)	23
FIGURA 3: ESQUEMA DE ZCIT (NEW YORK UNIVERSITY, 2012).	24
FIGURA 4: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE TERMOELÉCTRICA CONVENCIONAL.	30
FIGURA 5: REFINERÍAS EN EL ECUADOR (EP PETROECUADOR, 2013).	33
FIGURA 6: ESQUEMA BÁSICO DE ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE UNA ESTACIÓN DE SERVICIO, SIN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE VAPORES (EPA, 1995).	34
FIGURA 7: ESQUEMA BÁSICO DE ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE UNA ESTACIÓN DE SERVICIO, CON SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE VAPORES (EPA, 1995).	34
FIGURA 8: UBICACIÓN ZONA DE ESTUDIO EN COORDENADAS GEOGRÁFICAS.	37
FIGURA 9: PROVINCIAS DEL ECUADOR DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO.	38
FIGURA 10: RÍOS PRINCIPALES Y ZONAS POBLADAS DENTRO DE LA ZONA DE ESTUDIO.	38
FIGURA 11: CIUDADES PRINCIPALES EN LA ZONA DE ESTUDIO.	39
FIGURA 12: TIPOS DE CLIMA DENTRO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO NAPO (MAGAP, 2002).	40
FIGURA 13: ESTACIONES METEOROLÓGICAS INAMHI CON REGISTROS PARA EL AÑO 2012 PARA ZONA DE ESTUDIO.	41
FIGURA 14: DOMINIOS DE SIMULACIÓN METEOROLÓGICA PARA EL TERRITORIO CONTINENTAL DEL ECUADOR (PARRA, 2012).	42
FIGURA 15: ZONA DE ESTUDIO DENTRO DE MALLA.	44
FIGURA 16: MAPA DE INTENSIDAD VIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.	49
FIGURA 17: UBICACIÓN DE GASOLINERAS EN LA ZONA DE ESTUDIO.	50
FIGURA 18: UBICACIÓN GENERADORAS ELÉCTRICAS EN LA ZONA DE ESTUDIO.	51
FIGURA 19: REFINERÍA AMAZONAS Y PLANTA DE GAS DENTRO DE ZONA DE ESTUDIO.	54
FIGURA 20: GENERADORAS ELÉCTRICAS, GASOLINERAS, VÍAS Y REFINERÍA EN ZONA DE ESTUDIO.	56
FIGURA 21: COMPARACIÓN REGISTROS INAMHI CON RESULTADOS DEL MODELO WRF PARA EL AÑO 2012 (INAMHI, 2013).	57
FIGURA 22: MAPAS DE RADIACIÓN SOLAR. DÍA PROMEDIO DE CADA MES PARA EL AÑO 2012.	59
FIGURA 23: IRRADIACIÓN GLOBAL PROMEDIO PARA EL TERRITORIO ECUATORIANO (CONELEC, 2008)	62
FIGURA 24: POSICIONES DE LA TIERRA EN RELACIÓN AL SOL A LO LARGO DEL AÑO (EFECTO NOTICIAS, 2013)	63
FIGURA 25: MAPAS DE RADIACIÓN SOLAR. VALOR PROMEDIO DE CADA HORA PARA AGOSTO 2012 (1/2). ..	64
FIGURA 26: MAPAS DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO SOBRE TEMPERATURA. VALOR PROMEDIO DE CADA MES PARA AÑO 2012.	66
FIGURA 27: MAPAS DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO SOBRE TEMPERATURA. VALOR PROMEDIO DE CADA HORA, CADA 3 HORAS, PARA AGOSTO 2012.	72

FIGURA 28: EMISIONES DE NO_x PROVENIENTES DEL TRÁFICO VEHICULAR PARA LA ZONA DE ESTUDIO.....	74
FIGURA 29: EMISIONES DE CO PROVENIENTES DEL TRÁFICO VEHICULAR PARA LA ZONA DE ESTUDIO.....	74
FIGURA 30: EMISIONES DE COV PROVENIENTES DEL TRÁFICO VEHICULAR PARA LA ZONA DE ESTUDIO.	75
FIGURA 31: EMISIONES DE SO_2 PROVENIENTES DEL TRÁFICO VEHICULAR PARA LA ZONA DE ESTUDIO.....	75
FIGURA 32: EMISIONES DE PM_{10} PROVENIENTES DEL TRÁFICO VEHICULAR PARA LA ZONA DE ESTUDIO....	76
FIGURA 33: EMISIONES DE $\text{PM}_{2.5}$ PROVENIENTES DEL TRÁFICO VEHICULAR PARA LA ZONA DE ESTUDIO....	76
FIGURA 34: EMISIONES DE NO_x PROVENIENTES DE GENERADORAS ELÉCTRICAS PARA LA ZONA DE ESTUDIO.	79
FIGURA 35: EMISIONES EVAPORATIVAS DE COV PROVENIENTES DE GASOLINERAS EN LA ZONA DE ESTUDIO.	82
FIGURA 36: EMISIONES TOTALES DE CO EN ZONA DE ESTUDIO.	87
FIGURA 37: EMISIONES TOTALES DE COV EN ZONA DE ESTUDIO.	87
FIGURA 38: EMISIONES TOTALES DE NO_x EN ZONA DE ESTUDIO.....	88
FIGURA 39: EMISIONES TOTALES DE $\text{PM}_{2.5}$ EN LA ZONA DE ESTUDIO.	88
FIGURA 40: EMISIONES TOTALES DE PM_{10} EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	89
FIGURA 41: EMISIONES TOTALES DE SO_2 EN LA ZONA DE ESTUDIO.	89

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Siendo el Ecuador uno de los países más biodiversos del mundo, muchas zonas de alta diversidad dentro del país no cuentan con estudios apropiados que permitan hacer una correcta gestión de la calidad del aire. La zona de la Amazonía ecuatoriana por ejemplo, no está contemplada dentro del Plan Nacional de Calidad del Aire debido a que la ciudad más grande dentro de la Amazonía, Nueva Loja, tan sólo cuenta con 48 562 habitantes (INEC, 2013). Una de estas zonas corresponde a la cuenca hidrográfica del río Napo, para la cual no se han realizado estudios ni de afectación pública, ni estudios de afectación de los ecosistemas debido a la calidad del aire. Actualmente, se está realizando un primer portafolio de conservación para la zona, el cual está siendo elaborado por el equipo de trabajo del PEER Project, conducido por Andrea Encalada, Ph.D., y Juan Guayasamín, Ph.D.

Con el propósito de colaborar con una mejor gestión de la calidad del aire y de los ecosistemas en general, en este trabajo se ha elaborado un inventario de emisiones atmosféricas de fuentes antropogénicas y se ha realizado el procesamiento de variables físicas que sirven como línea base para alimentar modelos en la cuenca hidrográfica del río Napo para el año 2012 (Figura 1).



1.1 Ecuador dentro de Sudamérica



1.2 Cuenca del río Napo dentro de Ecuador

Figura 1: Ubicación del área de estudio. 1.1 Ecuador (zona color rojo) en Sudamérica, 1.2 Cuenca del Río Napo (zona color violeta) en Ecuador.

En las últimas décadas, la calidad del aire a nivel global se ha visto seriamente afectada por emisiones antropogénicas y biogénicas, afectando no sólo a los seres humanos, sino a la

vida del planeta en general. Entre los efectos producidos por la contaminación del aire se encuentran el calentamiento global, producido por emisiones de gases de efecto invernadero, y la disminución en la calidad de vida y afectaciones a la salud de la población mundial en general, efectos producidos por diversos contaminantes atmosféricos (Wark, et al., 1998).

Los ecosistemas se ven afectados de diferentes maneras dependiendo de la naturaleza y la concentración de los contaminantes atmosféricos. Algunos estudios han demostrado que una dosis baja de ciertos contaminantes puede no tener efectos adversos o incluso llegar a ser beneficiosa para el crecimiento de la vegetación al convertirse en una nueva fuente de nutrientes, mientras que dosis medias de contaminantes pueden ocasionar un estrés nutricional, una reducción en las tasas fotosintéticas y reproductivas de la vegetación y una inducción de enfermedades en la misma. En última instancia, las dosis altas de contaminantes atmosféricos inducen la muerte de ciertas especies de plantas (Smith, 1974). Si bien se sabe acerca de los numerosos efectos de la contaminación del aire en los ecosistemas, éstos han sido observados, más no cuantificados; debido a la variabilidad de respuestas de diferentes especies a diferentes concentraciones y tipos de contaminante (Wolterbeek, 2002).

El primer paso para mejorar la calidad del aire es identificar y estimar la contribución de fuentes contaminantes, tanto naturales como antropogénicas. Esta información está proporcionada por los inventarios de emisiones, que se definen como “series de números que representan la cantidad de ciertos contaminantes que se emite a la atmósfera, causada por una actividad económica, social o natural, emitida en cierta ubicación geográfica en un momento dado (ya sea pasado, presente o futuro)” (Van Aardenne et al., 2002). Los inventarios de emisiones se cuantifican por medio de modelos de emisiones, los cuales, al combinarse con modelos meteorológicos, permiten modelar el transporte químico atmosférico, que apunta a un mayor entendimiento de los procesos químicos y físicos, así como el comportamiento de los diferentes contaminantes en la atmósfera (van Aardenne et al., 2002). La única manera de cuidar los ecosistemas es conociendo las causas que lo están afectando, y es por aquí por donde se debe comenzar si se desea mejorar sus condiciones.

Contaminantes primarios del aire

Los contaminantes primarios proceden directamente de la fuente emisora. Entre ellos se encuentran el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), plomo (Pb), hidrocarburos (HC), compuestos orgánicos volátiles (COV) y el material particulado (PM) (INECC, 2013).

Estos contaminantes provienen de fuentes muy variadas; entre las fuentes antropogénicas están la quema de combustibles fósiles, evaporación de químicos, resuspensión de polvo, desintegración física de materiales y diversas actividades industriales. Algunas de las fuentes naturales son la emisión volcánica de ceniza y gases, y las emisiones de COVs de la vegetación; entre otros.

Según la Organización Mundial de la Salud, aproximadamente 2 millones de muertes son provocadas anualmente por baja calidad del aire, tanto en el exterior como en espacios interiores, sobre todo en países en vías de desarrollo. Adicionalmente, los ecosistemas de todo el planeta se ven afectados por la contaminación del aire (Smith, 1974).

Gases de efecto invernadero de origen antropogénico (GEI)

Los principales GEI provenientes de fuentes antropogénicas son el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) también toma en cuenta en sus reportes a los hidrofluorocarbonados (HFCs), perfluorocarbonados (PFCs), hexafluoruro de azufre (SF₆) y al trifluoruro de nitrógeno (NF₃), debido a su gran potencial de calentamiento global.

Entre las fuentes antropogénicas de GEI se encuentran las emisiones de CO₂ debido a la quema de combustibles fósiles y las emisiones de HFCs debido a fugas en sistemas de distribución de electricidad, uso de refrigerantes y solventes. Algunas fuentes naturales son las emisiones de metano (CH₄) provenientes del ganado y del cultivo de arroz, y emisiones de CO₂ provenientes de procesos de respiración de seres vivos, entre otras.

Los resultados de análisis en muestras de hielo indican que desde la revolución industrial, la concentración de GEI en la atmósfera, ha aumentado hasta llegar a la concentración máxima en los últimos 8000 años, pasando de 280 ppm a 399.65 ppm de CO₂ en la

actualidad (NOAA, 2014), provocando que la temperatura global aumente entre 0.3 y 0.6 °C desde finales del siglo XIX (Baethgen et al., 2000). El IPCC ha planteado una serie de escenarios en los cuales la concentración de GEI, y por lo tanto las condiciones del planeta, dependen del esfuerzo de la humanidad para reducir las emisiones de dichos gases. Mientras uno de estos escenarios indica que la situación actual podría mantenerse si se disminuyeran drásticamente las emisiones hasta un punto de balance entre fuentes y sumideros, los otros escenarios muestran una serie de repercusiones tales como aumentos importantes en el nivel del mar y en la salinidad de los océanos, variaciones en las estaciones a nivel mundial, y otras repercusiones que cambiarían las condiciones del planeta (IPCC, 2007).

Inventarios de emisiones en el Ecuador

Ecuador no cuenta aún con un inventario actualizado y publicado de las emisiones de contaminantes primarios o de GEI a nivel nacional. Sin embargo, cabe destacar el Plan Nacional de la Calidad del Aire, el cual cuenta con 12 proyectos dentro de 3 programas, y que tuvo entre sus metas el desarrollar inventarios de emisiones y una línea base de calidad del aire en 10 ciudades con población mayor a 150 000 habitantes, hasta fines del año 2013 (Ver Tabla 1) (MAE, 2013).

Tabla 1: Emisiones de cantones del Ecuador ($t\ a^{-1}$). (MAE, 2013)

Cantón o jurisdicción	Año base	NO _x	CO	COV	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Loja	2010	2420.7	9470.6	5098.4	241.4	236.1	156.4	279 112.1	748.0	22.5
Azogues	2010	1804.7	3613.3	1655.2	1563.2	290.7	129.3	553 172.1	243.7	24.8
Babahoyo	2010	1578.3	6683.0	3193.2	178.5	119.6	97.7	166 611.5	92.0	11.6
Quevedo	2010	13 338.6	14 291.5	4880.8	1454.6	525.1	474.2	654 297.4	159.5	31.6
Esmeraldas	2010	3919.7	8511.7	4968.8	13 796.9	491.8	350.5	1 119 125.4	156 754.3	34.5
Ibarra	2010	2869.0	9856.5	2708.3	260.3	1879.7	548.3	271 503.1	753.2	20.8
Santo Domingo	2010	5456.0	18 923.3	8807.4	598.6	456.7	373.4	512 793.7	706.0	36.9
Manta	2010	3000.7	11 309.1	4144.3	475.0	147.3	115.7	397 076.7	67.4	21.1
Portoviejo	2010	2417.3	12 304.6	4004.2	242.0	166.4	134.4	288 336.1	66.3	21.4
Milagro	2010	1436.7	7622.7	2162.4	243.6	2521.4	1471.1	222 826.3	171.8	12.8
Riobamba	2010	3774.2	11 757.5	3509.0	1437.3	449.0	232.2	668 417.6	72.3	37.4
Ambato	2010	3967.4	16 703.2	5874.6	387.1	476.3	227.1	448 979.6	590.2	34.6
Latacunga	2010	2729.9	9232.5	3651.5	586.7	275.1	183.2	336 439.1	226.8	20.4
Cuenca ¹	2009	7384.0	37 959.0	15 701.0	1665.0	1253.0	873.0	1 072 652.0	3734.0	69.0
Distrito Metropolitano de Quito	2007	34 315.0	103 989.0	36 123.0	10 212.0	3382.0	1391.0	3 472 327.0	11 720.0	197.0
Total		90 412.3	282 227.6	106 482.2	33 342.1	12 670.1	6757.4	10 463 669.7	176 105.5	596.3

Adicionalmente, existe un inventario nacional de las emisiones de dioxinas y furanos, en el cual se indica que las emisiones para el Ecuador fueron de 98.53 gramos de equitoxicidad por año (g EQT/a), las cuales están principalmente concentradas en el aire, con 65.49 g EQT/a (MAE/ESPOL-ICQ, 2004), y un inventario de las emisiones de mercurio y productos que contienen mercurio (MAE, 2008). Recientemente, en la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad San Francisco de Quito, se desarrollaron estimaciones a nivel nacional de las emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ por resuspensión eólica, que muestran un total de 9279.27 t/a de PM_{10} y 1381.89 t/a de $PM_{2.5}$ (Sánchez, 2013), y de las emisiones de COVs de la vegetación, en el cual se reportaron emisiones de 1278.6 kt/a de isopreno, 427.7 kt/a de monoterpenos y 149.3 kt/a de otros (Viteri, 2012).

Se han desarrollado también algunos inventarios de emisiones que cubren áreas más pequeñas. En el Distrito Metropolitano de Quito se han realizado tres inventarios de emisiones correspondientes al año 2003 (CORPAIRE, 2006), 2005 (CORPAIRE, 2008) y año 2007 (CORPAIRE, 2009). Así mismo, en la ciudad de Cuenca se ha elaborado dos inventarios correspondientes a los años 2007 (Fundación Natura, 2009) y 2009 (EMOV EP, 2011). De igual manera en la ciudad de Latacunga se cuenta con un inventario de emisiones preliminar (Romero et al., 2012).

En el Distrito Metropolitano de Quito debe destacarse el Plan de Acción Climático DMQ 2012-2016, el cual sirve como una guía para políticas de adaptación, mitigación y participación ciudadana en tópicos referentes al cambio climático (Quito Ambiente, 2012).

1.2 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

- Procesar y analizar variables físicas de línea base para el modelado medio ambiental y desarrollar un inventario de emisiones atmosféricas de fuentes antropogénicas en la cuenca hidrográfica del río Napo para el año 2012.

1.1.2 Objetivos específicos

- Recolectar y procesar datos meteorológicos de temperatura, radiación solar, precipitación, velocidad y dirección del viento para el año 2012.
- Analizar resultados meteorológicos del año 2012 obtenidos mediante un modelo y compararlos con los registros de estaciones meteorológicas.
- Recolectar datos de actividad y factores de emisión para el cálculo de emisiones de fuentes de origen antropogénico, tanto de contaminantes primarios como de CO₂, en la zona de estudio.
- Generar información georeferenciada de las emisiones antropogénicas de la cuenca del río Napo para su futuro uso en un modelo de transporte químico de contaminantes atmosféricos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Modelamiento

Un modelo es una idealización de un sistema real, en el cual los elementos que lo conforman están interrelacionados entre sí, de manera que las variaciones en estos elementos provocan cambios en el comportamiento del sistema en general. Los modelos normalmente no consideran todos los componentes e interacciones de un sistema, pero buscan reproducir datos similares a los que presenta el sistema real. El desarrollo y uso de un modelo puede tener diferentes fines, como entender el funcionamiento de dicho sistema y generar información en aquellos lugares en donde no se dispone de registros (Labrandero et al., 1998).

Los modelos matemáticos utilizan ecuaciones para representar algunas de las relaciones que existen entre las variables dentro del sistema. Los mismos pueden ser determinísticos, es decir que aplican leyes físicas y químicas que son expresadas mediante ecuaciones fundamentales, o modelos empíricos, basado en las relaciones estadísticas entre los elementos del sistema.

3.2. Variables meteorológicas

Las principales variables son: temperatura, radiación solar, precipitación y velocidad y dirección del viento.

3.2.1 Temperatura

La temperatura ambiental tiene influencia en las emisiones, tanto biogénicas como antropogénicas, así como las condiciones de dispersión de contaminantes del aire provenientes de estas fuentes. Si la temperatura de las emisiones es mayor que la temperatura ambiente, el gas emitido se transporta hasta más arriba en la columna de aire, logrando así dispersarse mejor. Por el contrario, si la temperatura de la emisión es menor, los gases tienen menos flotabilidad y afectan a la calidad del aire a nivel del suelo.

Adicionalmente, el metabolismo de los microorganismos depende en gran medida de la temperatura, ya que las reacciones que regulan la producción de energía, y por lo tanto de gases producidos por estas reacciones, están regulados por constantes que dependen de la temperatura (Castillo et al., 2005). En cuanto a la vegetación, se ha demostrado que cambios en la temperatura cambian los factores de emisiones de COVs. Si bien no se conoce tanto al respecto, se sabe que la vegetación emite una serie de COVs como respuesta a altas temperaturas y a otras condiciones ambientales que resultan perjudiciales para la planta (Peralta et al., 2005). Finalmente, la evaporación depende de la temperatura, y el vapor de agua es un GEI.

La temperatura es un parámetro ecológicamente muy importante; temperaturas altas y constantes a lo largo del año permiten un nicho altamente diverso, como son los bosques tropicales. Por el contrario, regiones con fuertes cambios de temperatura, como los desiertos, son capaces de albergar una diversidad menor. En consecuencia, la temperatura es una variable muy importante para el modelamiento en general, ya que la misma tiene una fuerte influencia en el medio ambiente.

3.2.2 Radiación solar

La radiación solar tiene una fuerte influencia en la calidad del aire, ya que afecta tanto a fuentes biogénicas, provenientes de organismos autótrofos por ejemplo, como antropogénicas, en la formación de contaminantes secundarios como el ozono troposférico (O_3).

Las emisiones biogénicas de COVs de la vegetación dependen de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y tiene una fuerte influencia en todo el metabolismo de la vegetación y de organismos autótrofos, como algas, que aportan emisiones en grandes cantidades (Castillo et al., 2005). De igual manera, la concentración de contaminantes secundarios, como el ozono (O_3), dependen de la radiación solar para formarse. En varias ciudades del mundo se verifica un aumento de la concentración de ozono troposférico en épocas del año cuando la radiación solar es mayor.

Los hábitats ecológicos dependen en gran medida de la PAR, la cual representa el aporte de energía más importante, ya que productores primarios utilizan dicha energía para realizar sus actividades metabólicas, y por lo tanto influyen a todo el hábitat en general

(Aschan et al., 1994). En consecuencia, es importante tomar en cuenta dicha variable dentro de modelos ambientales en general.

3.2.3 Precipitación

La precipitación juega un papel fundamental solubilizando los gases que quedan en la tropósfera en las gotas de lluvia. De igual manera, elimina el polvo y el material particulado que se encuentra en la superficie, impidiendo que el mismo se resuspenda y afecte la calidad del aire a nivel de la superficie. Por lo tanto, ciudades con poca precipitación suelen ser más susceptibles a una mala calidad del aire (Querol, 2008).

Las emisiones biogénicas de COVs se encuentran influenciadas por la humedad relativa y en menor medida por la precipitación, aunque de menor manera que por la temperatura y la radiación solar (Toro et al., 2005).

De igual manera, una de las características que permiten una alta diversidad es la cantidad de lluvia y la duración e intensidad de épocas secas y lluviosas. Por esto, es importante tomar en cuenta dicho parámetro meteorológico para el modelamiento ambiental en general.

3.2.4 Velocidad y dirección del viento

Lo que comunmente se llama viento son masas de aire que se mueven, en primera instancia por un gradiente de temperatura, el cual provoca un gradiente de presión atmosférica. La velocidad y dirección del viento son de particular importancia debido a su capacidad para mezclar masas de aire, lo que resulta en la dispersión de contaminantes. De igual manera, se ha demostrado, en estudios principalmente enfocados a la agronomía, que el viento es capaz de servir como medio de transporte para trasladar plagas y virus a través de grandes distancias, lo que tiene repercusiones tanto en temas relacionados a la salud pública como a la vegetación en general (Nebreda et al., 2005).

La velocidad y dirección del viento se vuelve un parámetro crítico de análisis en países con actividad volcánica, ya que estos patrones serán los que definan las áreas afectadas (Reynoso, 2009).

Debido a que este estudio se realiza en la cuenca hidrográfica del río Napo, la cual se encuentra al lado de la cordillera, los conceptos de vientos catabáticos y anabáticos son pertinentes para el estudio (ver Figura 2), así como el concepto de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) (ver Figura 3).

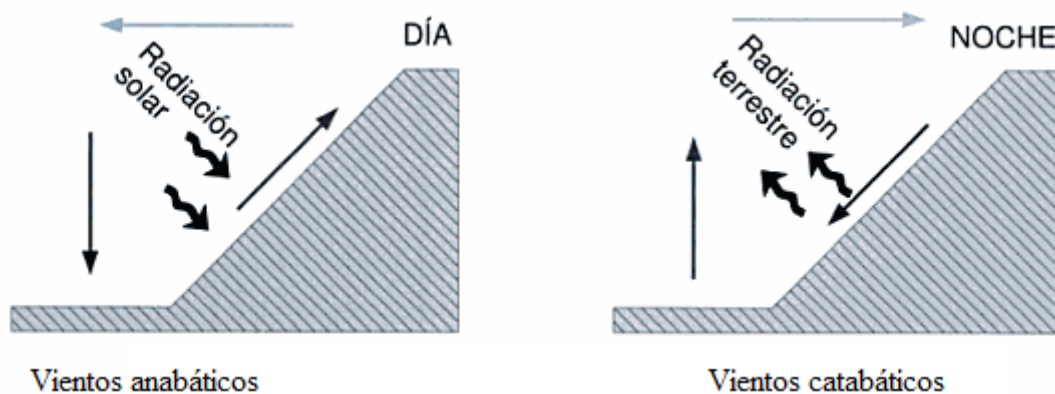


Figura 2: Esquema vientos catabáticos y anabáticos (Sendiña, 2006)

Los vientos catabáticos se producen debido a que, por las noches, el suelo en las montañas se enfría por radiación, al igual que las masas de aire que se encuentran en contacto con el mismo, provocando un aumento en la densidad de la masa de aire. Por efecto de la gravedad, estos vientos fríos descienden de las partes altas de las montañas hacia los valles. Los vientos anabáticos tienen un comportamiento contrario. Estos se deben a masas de aire que se calientan durante el día en las zonas bajas, y que, debido a una disminución de la densidad, suben por las montañas.

Finalmente, la ZCIT es una región de baja presión cerca de la línea equinoccial, donde los vientos de superficie que provienen de los hemisferios norte y sur convergen. Esta convergencia produce un movimiento convectivo ascendente que incrementa la humedad relativa y de nubes, lo que resulta en altos niveles de precipitación. Esta zona de convergencia se mueve a lo largo del año, en una amplitud aproximada de 5 ° al Norte y al Sur de la línea equinoccial. Debido a la posición latitudinal del territorio ecuatoriano, la zona de convergencia intertropical atraviesa al Ecuador dos veces al año, lo que se traduce en dos épocas de lluvia (Oliver, 2005).

Terrestrial Pressure and Wind Systems

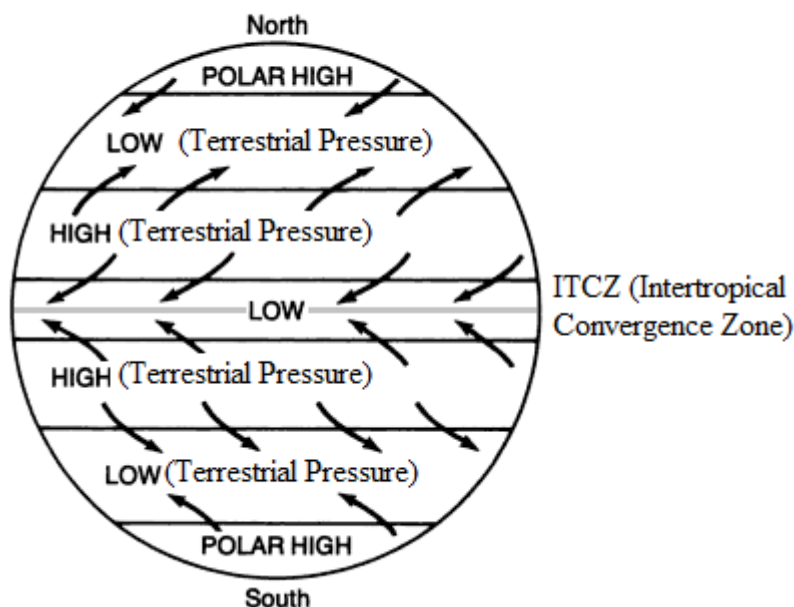


Figura 3: Esquema de ZCIT (Hinz et al., 2006).

3.3. Inventario de emisiones

Un inventario de emisiones es un instrumento estratégico para la correcta gestión de la calidad del aire, que representa un elemento primordial para toma de decisiones, ya que permite visualizar las emisiones de contaminantes que representan un peligro para la salud pública, debido a su toxicidad o debido a las cantidades emanadas de dicho contaminante a la atmósfera (EMOV EP, 2011). Un inventario de emisiones permite conocer las fuentes emisoras de contaminantes del aire, así como la cantidad y el tipo de contaminante que las mismas emanan a la atmósfera. Finalmente, un inventario de emisiones alimenta, junto a modelos meteorológicos, a modelos de transporte químico, los cuales apuntan a un mayor entendimiento de procesos físicos y químicos en la atmósfera.

Las fuentes de emisiones al aire contempladas en un inventario de emisiones pueden dividirse en dos categorías: emisiones naturales y antropogénicas. Las emisiones naturales corresponden a procesos como las emisiones de COVs de la vegetación, emisiones de PM y GEI en erupciones volcánicas, emisiones de CH₄ por parte de animales rumiantes y ciertos cultivos como el arroz. Las emisiones antropogénicas se relacionan con las actividades humanas. Entre las fuentes antropogénicas se encuentran las industrias, el

tráfico vehicular y las generadoras eléctricas. Las emisiones antropogénicas pueden ser mitigadas y controladas mediante acciones de control que pueden involucrar el uso de técnicas más amigables con el ambiente, tecnologías más eficientes, acciones normativas como la restricción o revisión vehicular.

3.3.1 Emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero

Las emisiones de GEI, en caso de mantenerse la situación actual, provocarán un aumento del forzamiento radiativo positivo de la Tierra. Al aumentar las concentraciones de dichos gases en la atmósfera, el flujo de radiación terrestre emitida al espacio disminuye, provocando una intensificación del efecto invernadero (Figueruelo et al., 2004). El forzamiento radiactivo antropogénico total es de $+1.6 \text{ W m}^{-2}$ (entre 0.6 y 2.4 m^{-2}). El mismo se ve aportado por los GEI de la siguiente manera: 52.53% del forzamiento radiativo positivo se debe al CO_2 , el 15.19% al CH_4 , el 5.06% al N_2O y el restante a compuestos con alto potencial de calentamiento global (IPCC, 2012).

Entre los efectos principales que el incremento del efecto invernadero puede llegar a causar están el derretimiento de los glaciares y de las nieves perpetuas, lo que lleva a un aumento del nivel de los océanos. Se espera, que algunos ecosistemas como los arrecifes de coral, los manglares y la tundra, se vean particularmente afectados, causando la extinción de una gran cantidad de especies (Canada Environment, 2009).

Los aumentos de temperatura también han sido relacionados con una afectación en la agricultura, la cual puede provocar una reducción de la producción mundial de alimento. Asimismo, se espera que el aumento del nivel del mar afecte a poblaciones cercanas a las costas debido a inundaciones cada vez más recurrentes. Se estima que la salud pública se verá afectada tanto por la disminución de la calidad del aire, como por enfermedades producidas por una afectación en el suministro de agua potable (IPCC, 2007).

Según el IPCC, la capacidad de resiliencia de varios de los ecosistemas se verá superada por la combinación de los siguientes factores producidos por el cambio climático, como sequías, inundaciones, acidificación del océano, fragmentación de ecosistemas, el cambio en el uso de la tierra, etc. En cuanto a las especies animales y vegetales, entre un 20 y un 30% de las especies estudiadas se verá en peligro de extinción si las temperaturas globales promedio incrementan entre 1.5 y $2.5 \text{ }^\circ\text{C}$. Si este incremento es superado, se espera que

además haya un importante cambio en la estructura de los ecosistemas y desplazamientos de las especies, entre otros impactos negativos. Finalmente, el cambio climático provocado por el aumento de la concentración de GEI en la atmósfera intensificará el estrés hídrico actual del planeta, alterando a todos los ecosistemas del mismo (IPCC, 2007).

Dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono proviene principalmente de la quema de combustibles fósiles, la quema de biomasa y ciertos procesos industriales. En menor medida, procesos biológicos como la respiración de seres vivos, aporta también a las emisiones de CO₂.

La quema de combustibles fósiles se presenta en generadoras eléctricas; en fuentes móviles, como el tráfico vehicular, y en menor medida el transporte aéreo y marítimo. La quema de biomasa es una fuente importante de CO₂ por dos razones: primero, libera los depósitos de carbono que se encuentran confinados en ella y, segundo, dado que la vegetación es un importante sumidero de CO₂, el poder de captación de dicho gas también se ve afectado. Finalmente, algunos sectores de la industria, como la producción cementera, tiene importantes emisiones de CO₂ (IPCC, 2005).

Los principales sumideros para el CO₂ son los océanos, la vegetación y el suelo. Dado que el CO₂ es soluble en agua, los océanos son un importante sumidero y absorben 7 Gt/año. Esta tasa ha permitido evitar que aproximadamente 500 Gt de CO₂, más del 38% de las emisiones antropogénicas de los últimos 200 años, se mantengan en la atmósfera (IPCC, 2005). La vegetación y el suelo representan un sumidero para el CO₂ debido a su capacidad de utilizarlo como fuente de carbono para diversos procesos biológicos, en los cuales el carbono se fija en la biomasa. Actualmente, el suelo y la vegetación contienen 830 Gt de carbono acumulado. En cuanto al poder de captación del planeta, hay estudios que indican que si el área boscosa se mantuviese intacta, la misma sería capaz de mitigar entre el 11 y el 15% de las emisiones antropogénicas (Brown, 1997).

En el año 2012, la concentración anual promedio de CO₂ en la atmósfera fue de 392.81 ppm. Esta concentración ha venido incrementándose en aproximadamente 2 ppm anualmente en los últimos 12 años y ha aumentado 74 ppm en los últimos 50 años (NOAA, 2013). Según análisis de diversos escenarios realizados por el IPCC, se estima que la concentración de CO₂ para el año 2100 puede aumentar de 549 ppm a 850 ppm (IPCC, 2007).

3.3.2 Emisiones antropogénicas de contaminantes primarios

Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Los NO_x que se forman debido a procesos de combustión provienen de dos fuentes: “NO_x termal”, causado por la combinación de N₂ y O₂ atmosféricos debido a las condiciones de temperatura en las cámaras de combustión, o “NO_x de combustible”, el cual se forma por la oxidación de nitrógeno que contiene el combustible. Este último es de mayor importancia en procesos en los cuales se utilizan combustibles residuales, y puede representar entre un 20 y un 50% de las emisiones totales de NO_x (EPA, 2000).

Cabe recalcar que los NO_x son fuentes de los aerosoles de nitrato y son precursores del ozono troposférico (O₃), contaminante que al superar ciertas concentraciones causa daños en la salud y en la vegetación. Por otra parte, en exposiciones crónicas con concentraciones superiores a 200 µg/m³, el dióxido de nitrógeno produce inflamaciones en las vías respiratorias y bronquitis en niños. La exposición prolongada causa disminución del desarrollo en funciones pulmonares (OMS, 2011).

Monóxido de Carbono (CO)

El CO se produce por combustión incompleta de combustibles fósiles, ya sean motores que funcionan a gasolina o estufas de cocina que funcionan a gas y es causante de muerte por envenenamiento, principalmente debido a dispositivos que funcionan defectuosamente, como calefones mal calibrados o en mal estado. El CO entra en el cuerpo y compite con el oxígeno por adherirse a la hemoglobina en la sangre, formando así carboxi-hemoglobina. Una persona normal tiene porcentajes de carboxi-hemoglobina en sangre menores al 1.5%, aunque para los fumadores este porcentaje puede llegar a 9%. Este compuesto provoca que el oxígeno no pueda ser transportado adecuadamente a través de la sangre, provocando diferentes niveles de intoxicación (NLM, 2014).

Los síntomas de estar respirando CO pueden no ser evidentes, pero incluso exposiciones cortas pueden producir daños a la salud a largo plazo. Entre estos daños se encuentran problemas neurológicos, dificultades de memoria y aprendizaje, cambios en la personalidad y trastornos tanto sensoriales como motores (EPA, 2012).

Dióxido de azufre (SO₂)

Es un contaminante particularmente dañino, ya que se ha demostrado que personas con asma experimentan síntomas respiratorios y cambios en la función pulmonar después de tan solo 10 minutos de exposición a concentraciones mayores a 500 µg/m³. Además, este contaminante puede causar irritación a los ojos, agravamiento de cuadros de asma y bronquitis. Cabe recalcar que en contacto con el agua produce ácido sulfúrico, principal componente de la lluvia ácida (OMS, 2011).

La fuente principal del SO₂ son los combustibles fósiles que contienen azufre en su composición: por vehículos automotores, generación de energía eléctrica y calefacción doméstica. Naturalmente, la última es la que causa efectos más drásticos.

Material Particulado (PM)

El PM es una compleja mezcla de compuestos, entre los cuales los principales son: sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, hollín, agua y minerales en polvo (Wark et al., 1998). El PM se clasifica según su diámetro aerodinámico, siendo las dos clasificaciones más importantes el PM con diámetro menor a 10 µm (PM₁₀) y el PM con diámetro menor a 2.5 µm (PM_{2.5}).

El PM₁₀ proviene principalmente de la resuspensión de polvo y de la desintegración física de materiales en algunos sectores industriales, como la extracción de materiales de construcción en canteras, resuspensión de PM en vías asfaltadas y no asfaltadas y erosión eólica del suelo. También sectores de la industria, como la cementera o la producción de plásticos, aportan cantidades significativas de PM₁₀.

Dentro del mismo se encuentra el PM_{2.5}, cuyas principales fuentes son los procesos de combustión, como la quema de combustibles fósiles para vehículos y generación de energía, así como incendios forestales, quemas agrícolas y ciertos procesos industriales. Un alto porcentaje de estas partículas se debe a la formación de partículas secundarias, las cuales se forman en complejas reacciones en la atmósfera. Debido a su diámetro aerodinámico, el PM_{2.5} es capaz de mantenerse suspendido en el aire y transportarse largas distancias, para luego depositarse en agua o suelo. Esta deposición provoca la acidificación de fuentes de agua, lo que causa un desbalance en los nutrientes, afectando a los ecosistemas en general (OMS, 2011).

En general, las emisiones de PM debido a la quema de combustibles dependen mayoritariamente del tipo de combustible. Los combustibles livianos tienen emisiones significativamente menores de PM que los combustibles pesados. Para combustibles livianos, el PM se forma principalmente de partículas carbonosas que resultan de la combustión incompleta, y no dependen de las concentraciones de ceniza y de azufre. Por el contrario, las emisiones provenientes de la quema de combustibles residuales dependen mayoritariamente del contenido de azufre en el combustible (EPA, 2000).

La exposición crónica a PM produce enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Estos casos son particularmente comunes en comunidades en países de desarrollo donde se cocina de manera tradicional en espacios interiores, llegando a causar enfermedades pulmonares crónicas y cáncer de pulmón (OMS, 2011).

3.4. Fuentes antropogénicas de contaminantes primarios del aire y gases de efecto invernadero

Las emisiones del sector de producción de energía tienen un alto impacto en la atmósfera. Según las guías para inventarios de emisiones de GEI del IPCC (2006), el sector energético contribuye hasta con el 90% de las emisiones de CO₂ y el 75% de las emisiones totales de GEI en países desarrollados. Cabe recalcar que el 70% de estas emisiones provienen de combustión estacionaria, del cual la mitad está principalmente representada por plantas de producción de energía y refinerías.

3.4.1 *Generadoras eléctricas*

Las generadoras eléctricas utilizan la energía almacenada en los combustibles fósiles para generar un movimiento, el cual, mediante un generador eléctrico, es transformado en electricidad.

En la Figura 4 se presenta un esquema del funcionamiento de una generadora eléctrica convencional (Figura 4.1). La generadora cuenta con cámaras dentro de las cuales se comprime aire caliente por sobre la temperatura de auto ignición de los combustibles utilizados. Al ingresar los combustibles en estas cámaras (Figura 4.2), se auto ignicionan, creando una expansión de aire y gases en la cámara que provoca un movimiento (Figura 4.3), el cual es trasladado hacia el generador.



Figura 4: Esquema de funcionamiento de termoelectrica convencional.

A fin de reducir el alto impacto ambiental de las generadoras eléctricas y aumentar su baja eficiencia (cercana al 40% en generadoras eléctricas convencionales), muchas de estas se han diseñado para que funcionen a ciclo combinado. Las generadoras eléctricas a ciclo combinado tienen una segunda turbina que funciona con el calor remanente que queda en el vapor de agua después de pasar la primera turbina, generando un rendimiento que puede llegar al 55% de eficiencia, dependiendo del combustible (IPCC, 1996).

Generadoras eléctricas en el Ecuador

Según los indicadores del Consejo Nacional de Electricidad CONELEC para el año 2012, la energía total producida en Ecuador fue de 23 085.92 GWh, energía que da una cobertura eléctrica nacional del 95.41%. De este porcentaje, el 98.97% fue generada en Ecuador, mientras que el remanente 1.03% proviene de Colombia y Perú. De la potencia instalada en el Ecuador, el 46.07% proviene de fuentes renovables, siendo la principal la energía hidráulica (95.89%), seguido por la biomasa (4%) y la energía solar (0.01%). La potencia instalada de fuentes no renovables genera el 53.93% del país, siendo la fuente principal el turbogas (35.77%), el diésel (26.76%), el turbovapor (16.33%) y otras fuentes (21.14%). La energía eléctrica proveniente de fuentes no renovables en el Ecuador es generada por 225 centrales de generación, entre las cuales hay empresas generadoras, distribuidoras con

generación y autogeneradoras (CONELEC, 2012). El consumo de combustible por parte de centrales para generación de energía eléctrica se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Consumo de combustible utilizado para generación eléctrica año 2012 (CONELEC, 2012).

Combustible	Consumo (millones de gal)
Fuel Oil	277.25
Diésel 2	138.34
Nafta	0.09
Gas Natural	23.23
Residuo	70.63
Crudo	67.16
GLP	6.3
Bagazo de Caña	1.12

3.4.2 Refinerías

El petróleo es una mezcla muy compleja de hidrocarburos, por lo que es necesario utilizar una serie de procesos para poder aprovecharlos. Las refinerías abarcan procesos que permiten transformar el crudo en hasta 2500 productos diferentes, entre los cuales están las gasolinas, el kerosene, el diésel, aceites lubricantes, asfalto, entre otros. Debido a la gran cantidad de productos derivados de petróleo, las refinerías pueden variar mucho en su estructura, dependiendo de los productos que se desee obtener. En términos generales, los procesos pueden ser agrupados en 5 categorías (EPA, 1995):

- **Procesos de separación:** destilación atmosférica, destilación al vacío y procesamiento de gas.
- **Procesos de conversión de petróleo:** cracking (térmico y catalítico), reforming, alquilación, polimerización, isomerización, coquificación y visbreaking.
- **Procesos de tratamiento de petróleo:** hidrodeshidrosulfuración, hidrotratamiento, endulzado químico, remoción de gas ácido y desasfaltado.
- **Materia prima y manipulación de producto:** Almacenamiento, mezclado, carga y descarga.

- **Medios auxiliares:** quemadores, plantas de tratamiento de agua residual, producción de hidrógeno, planta de recuperación de azufre, torres de enfriamiento, compresores y sistemas de purga.

El crudo que ingresa a la refinería es separado según su contenido de azufre. Posteriormente, ingresa a una destilería, donde las fracciones se separan en función de su punto de ebullición. En la Tabla 3 se pueden ver las fracciones de crudo que se obtienen de la destilación en función del número de átomos de carbono en la molécula.

Tabla 3: Fracciones de crudo en función de número de átomos de carbono en la molécula (Arellano, 2013).

Fracciones en el crudo	Número de átomos de carbono
Gas	1 a 4
Gasolina	5 a 10
Kerosene	11 a 13
Gasoil	14 a 18
Aceites Lubricantes	18 a 35
Residuos	> 35

Posteriormente, la fracción más pesada pasa a una torre de destilación al vacío, donde se obtienen una serie de productos adicionales. Finalmente, hay una serie de procesos que permiten transformar cada una de las fracciones en los productos terminados.

La gran cantidad de procesos que se realizan, tienen un alto consumo de energía, que se abastece por lo general con la quema de combustibles producido en la misma refinería. Algunos procesos de refinación emiten grandes cantidades de contaminantes del aire, como los procesos de cracking y coking, los cuales emiten PM y CO. Ciertas unidades dentro de los procesos, como los sistemas de purga y los calderos, consumen una cantidad de combustible considerable, por lo que las emisiones asociadas a las refinerías pueden tener valores relativamente altos, dependiendo de la composición de las mismas (EPA, 1995).

Refinerías en el Ecuador

La Figura 5 indica la ubicación de las refinerías del Ecuador: La refinería Esmeraldas, la Refinería de La Libertad y la refinería Amazonas y Planta de Gas, antiguamente complejo industrial Shushufindi.



Figura 5: Refinerías en el Ecuador (EP Petroecuador, 2013).

La refinería Esmeraldas está ubicada dentro de la provincia del mismo nombre y fue construida en 1977 con una capacidad de 55 000 barriles por día (BDP) y ampliada en 1999, aumentando su capacidad de producción a 110 000 BDP. Esta refinería está diseñada para procesar crudos más pesados (23 °API a 27.2 °API) y produce GLP, gasolinas, diésel, jet fuel, fuel oil No. 4 y No. 6, fuel oil de exportación, asfalto, butano propano y azufre sólido (Arellano, 2013).

La refinería de la Libertad está ubicada en la provincia de Santa Elena y fue construida en 1940, inicialmente con una producción de 7000 BPD y posteriormente, ampliada hasta llegar a una capacidad de procesamiento de 45 000 BPD. Entre los productos que se obtienen en esta refinería están el GLP, la gasolina base, el diésel 1 y 2, el turbo fuel base, solventes de caucho y pinturas, spray oil, absorber oil y fuel oil No.4 (Arellano, 2013).

La refinería Amazonas y Planta de Gas Shushufindi se encuentra ubicada en la provincia de Sucumbíos, en la cuenca del río Napo. Está conformada por dos torres de destilación atmosférica y una planta de gas. La refinería fue construida el 1987 y tiene una capacidad de 20 000 BPD. La planta de gas, por otro lado, empezó a operar en 1981 con una capacidad máxima de carga de 25 millones de pies cúbicos de gas asociado y una capacidad de producción de 500 t/d de GLP y 2800 BPD de gasolina. Los productos que se obtienen de esta refinería son: gasolina extra, diésel 1 y 2, jet fuel y residuo. Adicionalmente, la planta de gas produce gasolina natural y GLP.

3.4.3 Gasolineras

Los productos de la refinería luego son transportados a centros de distribución. En el transporte y almacenamiento, hay una serie de operaciones que pueden contribuir con emisiones de COV. La Figura 6 muestra un esquema básico del sistema de almacenamiento y bombeo de una gasolinera.

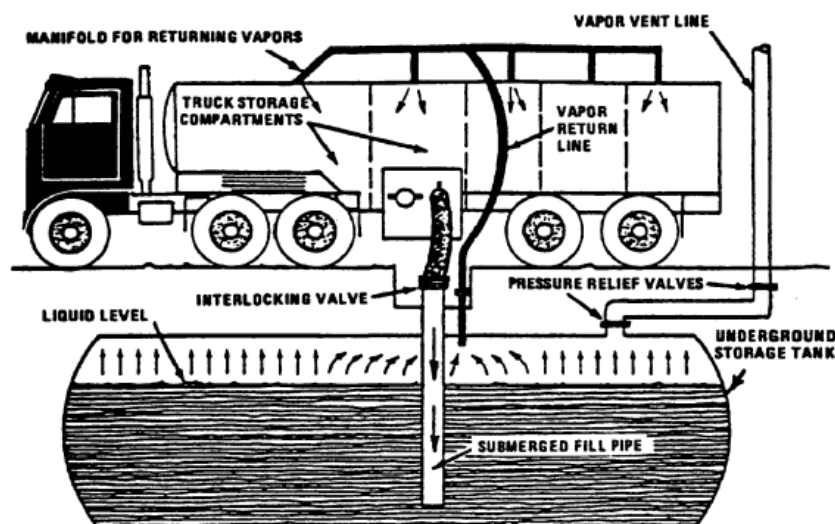


Figura 6: Esquema básico de estación de almacenamiento y bombeo de una estación de servicio, sin sistema de recuperación de vapores (EPA, 1995).

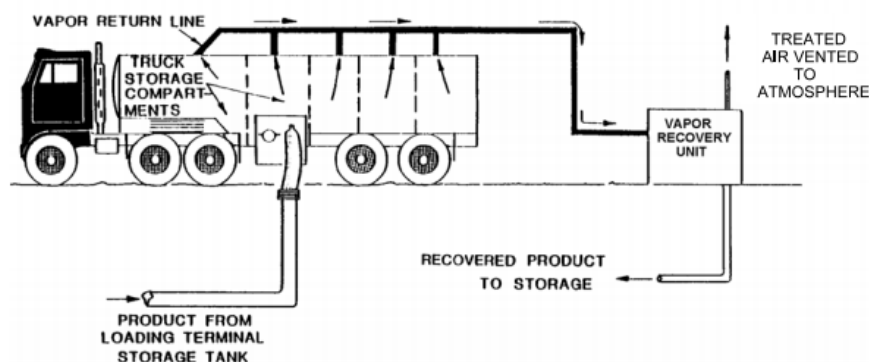


Figura 7: Esquema básico de estación de almacenamiento y bombeo de una estación de servicio, con sistema de recuperación de vapores (EPA, 1995).

El tanquero transporta los combustibles hasta la gasolinera, en la cual hay una cisterna subterránea que se conecta a los dispensadores de combustible. Esta cisterna es llenada por el tanquero para que luego se distribuyan los combustibles. Las cisternas tienen un sistema de purga de los gases evaporados, los cuales pueden ser emitidos al aire directamente (ver Figura 6 arriba) o pasar a través de un sistema de recuperación de vapores (ver Figura 7

abajo). Además de las emisiones de COVs debido a la purga de gases de la cisterna, las pérdidas de combustible en los procesos de llenado de la cisterna y de los vehículos automotores por parte de los dispensadores constituyen fuentes de emisiones de COVs.

Gasolineras en Ecuador

En Ecuador hay 15 empresas comercializadoras de combustibles. Las más grandes son Petrocomercial (211 gasolineras), Petróleos y Servicios (273 gasolineras) y Primax (187 gasolineras). Durante el año 2012, Petroecuador comercializó 458 345 652 gal, Petróleos y Servicios 402 412 260 gal y Primax 342 006 408 gal (Torres, 2013).

3.4.4 Tráfico vehicular

El tráfico vehicular constituye una de las principales fuentes de contaminantes del aire a nivel mundial. En el año 2010 se estimó que la cantidad de automóviles en el mundo había ya superado los 1000 millones. De estos vehículos, 239 millones circulan dentro de Estados Unidos, seguido por China y Japón con 78 millones y 73.9 millones respectivamente (Cantera, 2011). De estos vehículos, Si bien la industria automotriz ha desarrollado modelos híbridos y eléctricos, la gran mayoría utilizan combustibles fósiles.

El tráfico vehicular aporta con emisiones de tres tipos: emisiones en frío, en caliente y evaporativas. Las emisiones evaporativas se producen debido al calor producido por el funcionamiento del vehículo, el cual evapora el combustible en el tanque. Las emisiones en frío se dan durante la etapa de arranque, etapa en la cual se pueden esperar emisiones importantes de COVs. Finalmente, las emisiones en caliente se dan cuando el vehículo se encuentra en circulación.

Para este estudio solo se contemplan las emisiones en caliente, ya que diversos estudios indican que estas son las que son de mayor importancia al representar aproximadamente el 90% de las emisiones totales. Adicionalmente, las estimaciones en frío no son solamente menores, sino que su estimación es más compleja (Universidad Pontificia Bolivariana, 2010).

Tráfico Vehicular en Ecuador

El parque vehicular ecuatoriano al año 2012 fue de 1 952 163 vehículos. En ese año, a nivel nacional se vendieron 121 446 unidades de automóviles. Las provincias con mayor participación en la compra de vehículos son Pichincha con el 40.1%, Guayas con 26.9% y en tercer lugar Tungurahua con un 7.2%. Además, se importaron 116 633 motocicletas. Las provincias con mayor participación en la compra de motocicletas son Guayas con el 28.03%, Pichincha con el 14.1%, Los Ríos con 10.1% y Manabí con el 8.9% (AEADE, 2012). Debido a que las provincias dentro de la zona de estudio tienen una participación muy baja dentro del mercado automotriz, los boletines de la Asociación de Empresas Automotrices Del Ecuador (AEADE) no proporcionan datos acerca de estas provincias. Sin embargo, asumiendo que la zona de estudio tuvo un comportamiento similar al del resto del país, la compra de vehículos para la misma debió ser de aproximadamente 3848 vehículos, representando aproximadamente el 1.6% de las ventas a nivel nacional.

3.5. Uso de combustibles fósiles en el Ecuador

En el Ecuador se comercializan dos calidades de gasolina: gasolina súper y gasolina extra, las cuales tienen una concentración máxima de 650 ppm de azufre, y 92 y 87 octanos respectivamente. Adicionalmente, se comercializan dos tipos de diésel: diésel Premium (hasta 500 ppm de azufre) y diésel 2 (hasta 7000 ppm). Para el año 2012, se comercializaron 745 115 528 gal de gasolina extra, 213 141 476 gal de gasolina súper, 80 796 322 gal de diésel 2 y 756 008 152 gal de diésel Premium a nivel nacional (Arellano, 2013). La Tabla 4 indica la distribución del consumo de gasolinas y diésel por provincia, dentro de la zona de estudio, para el año 2012.

Tabla 4: Despacho anual por combustibles para provincias en zona de estudio año 2012 (Arellano, 2013).

Provincia	Producto							
	Gasolina Extra		Gasolina Súper		Diésel 2		Diésel Premium	
	Galones	%	Galones	%	Galones	%	Galones	%
Morona Santiago	5 375 648	1	849 954	0	25 929	0	6 799 218	1
Napo	3 964 500	1	809 500	0	1 601 163	2	8 634 500	1
Orellana	6 986 660	1	792 000	0	31 408 035	39	9 434 340	1
Pastaza	4 832 500	1	989 500	0	1 493 340	2	6 026 000	1
Sucumbíos	11 235 434	2	852 000	0	4 746 585	6	10 923 170	1
Total nacional	745 115 528	100	213 141 476	100	80 769 322	100	756 008 152	100

Nota: La columna % representa el porcentaje de la provincia en relación al Ecuador.

4. METODOLOGÍA

4.1. Software

Se usaron 3 paquetes informáticos: ArcGis 3.2, ArcGis 10 y Surfer. Los dos primeros son sistemas de información geográfica y se utilizaron para la elaboración de mapas y procesamiento de variables físicas, y el tercero, un interpolador, el cual se utilizó para graficar en mapas las variables físicas, debido a la calidad de imagen.

4.2. Definición de la zona de estudio

El estudio se desarrolló para una zona aproximadamente rectangular (Figura 8) dentro de la cual se incluye la cuenca hidrográfica del río Napo.

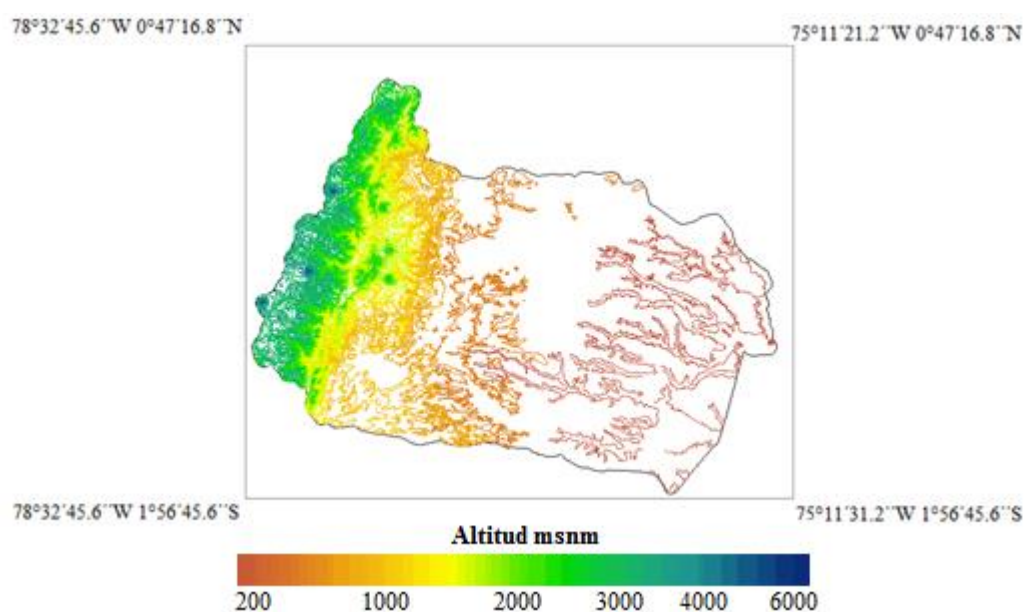


Figura 8: Ubicación zona de estudio en coordenadas geográficas.

La zona de estudio cubre un área de 65 618 km², es decir el 54.70% de la región amazónica y el 23.14% de la superficie del país (INEC, 2013). El área de estudio incluye una parte de la cordillera de los Andes en la parte izquierda.

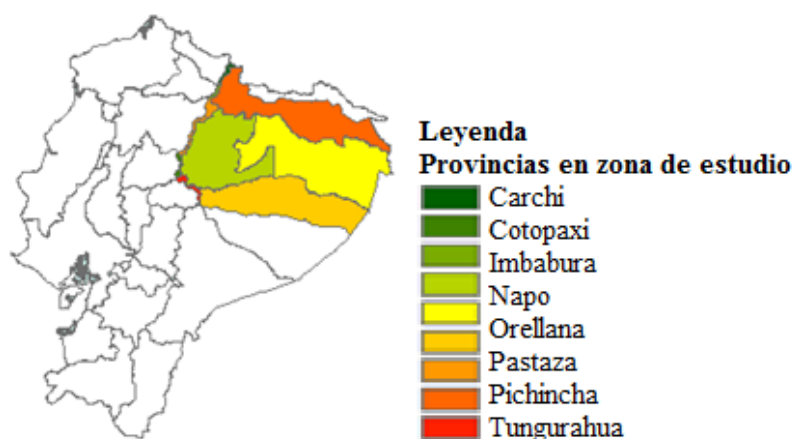


Figura 9: Provincias del Ecuador dentro del área de estudio.

Además del río Napo, el área contiene 10 ríos principales (Figura 10). Alrededor de estos ríos se presenta la mayor cantidad de poblados.

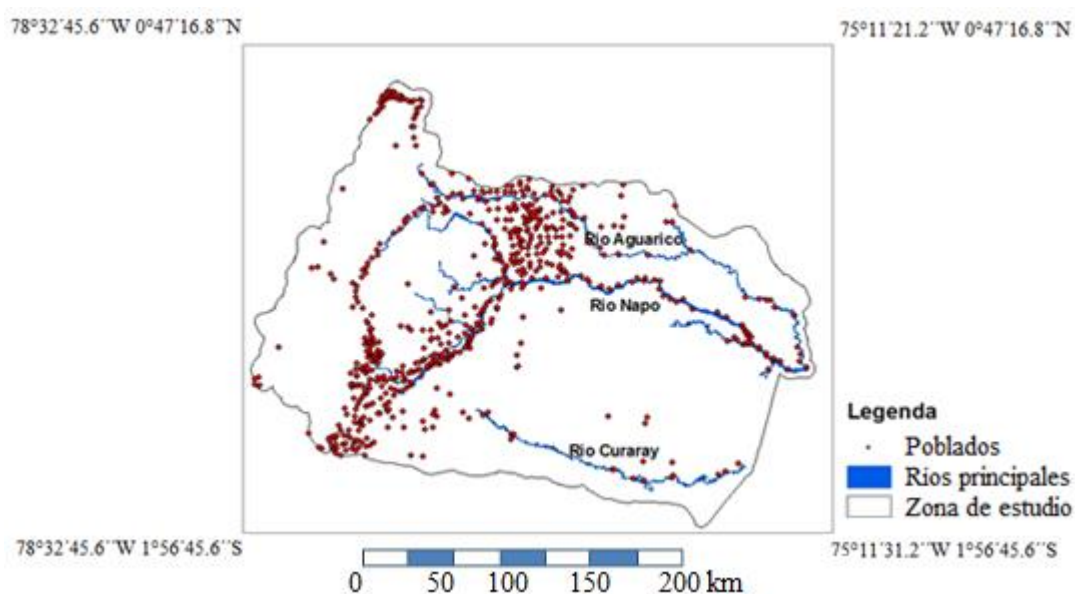


Figura 10: Ríos principales y zonas pobladas dentro de la zona de estudio.

De las 15 ciudades más grandes en la zona de estudio, 9 tienen menos de 10 000 habitantes. Las principales ciudades dentro de la zona de estudio son: Nueva Loja (48 562 habitantes), Puerto Francisco de Orellana (40 730 habitantes), Puyo (33 577 habitantes), Tena (23 307 habitantes) y Shushufindi (16 335 habitantes) (INEC, 2010), entre otras (ver Figura 11).

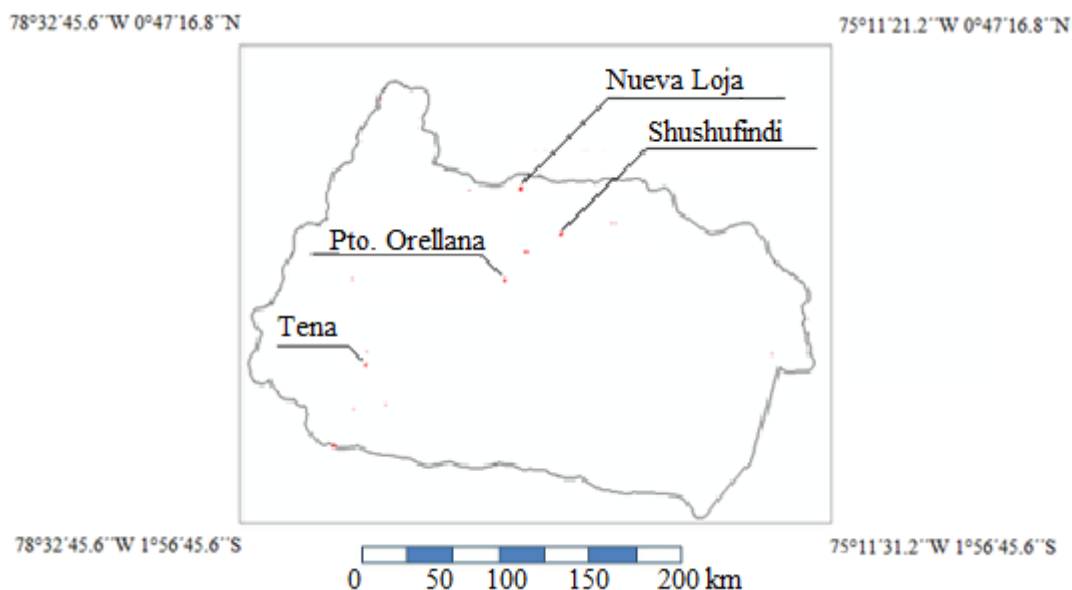


Figura 11: Ciudades principales en la zona de estudio.

Debido al gradiente altitudinal de la cordillera en la zona central del Ecuador, se pueden identificar varios tipos de clima dentro de la zona de estudio. En la Figura 12 se observa el tipo de clima, proporcionado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca del Ecuador (MAGAP, 2002).

La mayor parte del área de estudio presenta un clima megatérmico lluvioso, con una temperatura media anual mayor a 24 °C, una humedad relativa sobre el 90% y una precipitación anual entre 4000 y 5000 mm. Más hacia la cordillera, el clima pasa a ser tropical megatérmico húmedo, con una temperatura media anual entre los 18 y los 24 °C, humedad relativa superior al 90% y precipitaciones entre los 2000 y 4000 mm anuales. El clima ecuatorial mesotérmico semi húmedo tiene temperaturas medias anuales alrededor de 18 °C, humedades relativas mayores al 80% y precipitaciones anuales entre 1000 y 2000 mm. Ya en la cordillera, el clima ecuatorial de alta montaña se da en zonas situadas por sobre los 3000 msnm. Tiene temperatura media anual menor a los 12 °C, humedad relativa mayor al 80% y precipitaciones que varían entre 1000 y 2000 mm anuales. Finalmente, el clima nival se caracteriza por ser una zona cubierta de nieve donde no hay vegetación alguna, que en términos generales suele comenzar entre los 4600 y 5100 msnm (MAE, 2007).

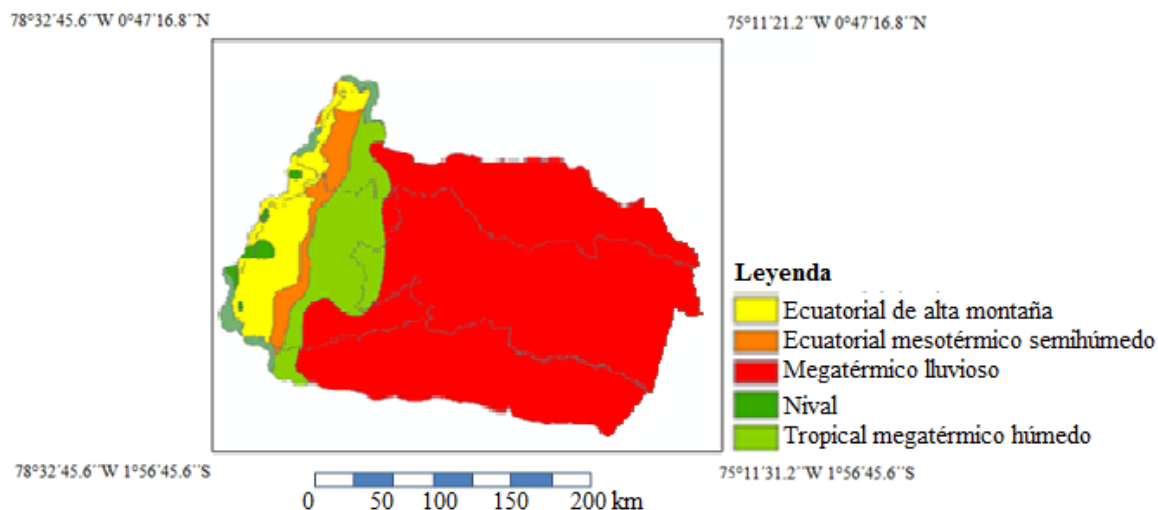


Figura 12: Tipos de clima dentro de la cuenca hidrográfica del río Napo (MAGAP, 2002).

4.3. Parámetros físicos

4.3.1. Recopilación de información

Registros de parámetros físicos INAMHI

Se recopilaban los archivos históricos de los registros de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), que posee 6 estaciones meteorológicas dentro de la zona de estudio con registros para el 2012: M0004 Rumipamba-Salcedo, M0007 Nuevo Rocafuerte, M0008 Puyo, M0188 Papallacta, M1124 Sierrazul y M1203 Lumbaqui (Figura 13).

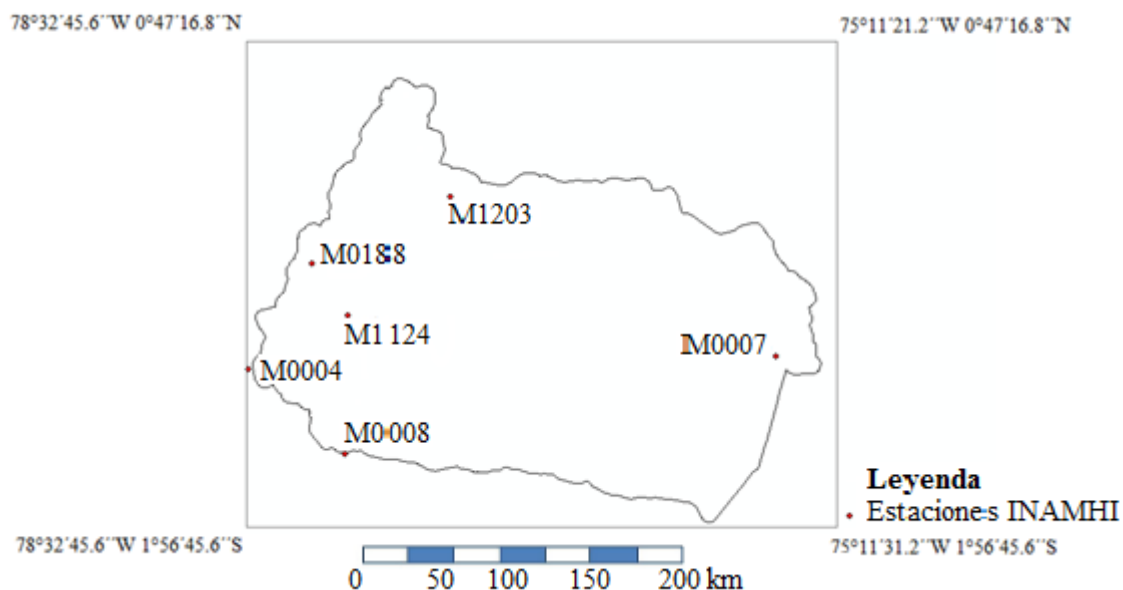


Figura 13: Estaciones meteorológicas INAMHI con registros para el año 2012 para zona de estudio.

Entre los parámetros que miden las estaciones del INAMHI dentro de la zona de estudio se encuentran la precipitación (mm) y la temperatura (°C). De los parámetros registrados por las estaciones, el único parámetro que se utiliza en este estudio es la temperatura (°C).

Resultados del modelo Weather Research and Forecasting

Los resultados del modelo Weather Research and Forecasting (WRF) fueron generados en el centro de cómputo de alto rendimiento de la Universidad San Francisco de Quito, generando valores similares de la temperatura, radiación solar, velocidad y dirección del viento para la zona de estudio en el período del año 2012.

Las simulaciones se desarrollaron utilizando un dominio maestro y dos subdominios anidados (Figura 14).

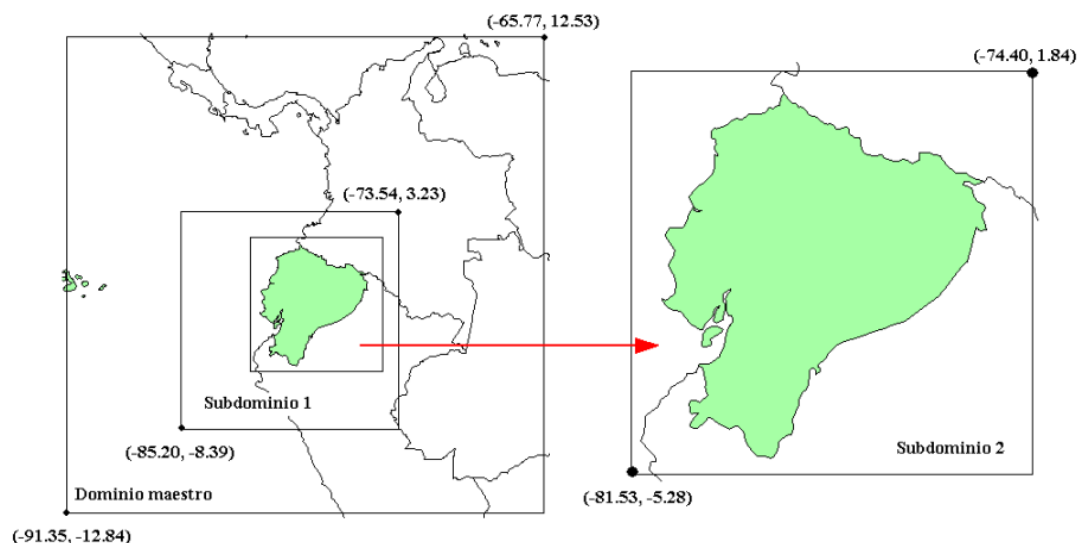


Figura 14: Dominios de simulación meteorológica para el territorio continental del Ecuador (Parra, 2012).

El segundo dominio circunscribe el territorio continental del Ecuador, y se conforma de una malla de 199 filas y 199 columnas, formando celdas de 4 km de lado. Las condiciones iniciales y de borde del modelo se generaron a partir de la base de datos de análisis final del National Center for Atmospheric Research de los Estados Unidos, en cuyos archivos se proporciona información meteorológica global, 4 veces por día (horas 00, 06, 12 y 18; hora universal), en celdas de 1 grado geográfico de lado (aproximadamente 110 km). Los archivos de análisis final fueron generados por el Global Data Assimilation System (GDAS), sistema que colecta permanentemente registros del Global Telecommunications Systems (GTS) y otras fuentes. Las simulaciones se desarrollaron para los días 1 hasta 27 de cada mes (Parra, 2012). Posteriormente, la malla de 4 km que circunscribe al Ecuador fue cortada para que circunscribe la zona de estudio.

4.3.2. Validación de los resultados de temperatura del modelo WRF

Para identificar si los resultados proporcionados por el modelo reproducen las condiciones reales de temperatura, se comparó con los registros de las estaciones. Se procesaron los datos de la misma manera en que lo hace el INAMHI, es decir promediando 3 registros diarios (7:00 am, 13:00 pm y 19:00 pm) para obtener un valor único y representativo para cada día (INAMHI, 2006). Finalmente, se comparó el registro de cada estación con el valor de la celda en la cual se encuentra ubicada.

4.3.3. *Procesamiento de datos*

Se usaron los programas ArcGis 3.2 y ArcGis 10 para organizar la información en archivos de texto que puedan alimentar modelos. Los archivos contienen información de la temperatura, radiación, velocidad y dirección del viento, cada archivo con una resolución 4 km y un total de 8118 filas. Los archivos de temperatura y radiación solar tienen 26 columnas: las dos primeras indican las coordenadas geográficas del centro de cada celda y las siguientes 24 indican los valores horarios (de hora 00:00 a hora 23:00). Los archivos de velocidad y dirección del viento tienen 50 columnas: las primeras indican las coordenadas geográficas, las siguientes 24 tienen el dato horario del componente horizontal u del viento y las siguientes 24 el componente vertical v .

Se procesó también la información de la temperatura con una resolución de 1 km. Estos archivos tienen la misma estructura, con la diferencia de que hay 147 000 filas. Para procesar esta información fue necesario interpolar los datos a partir de los archivos de temperatura con una resolución a 4 km. Se crearon contornos de temperatura y luego se asignó espacialmente el valor al centro de la celda de 1 km.

4.4. Modelo de emisiones

Se utilizó el modelo general de cálculo de emisiones ($E = A \times Fe$), para el cual se multiplica la actividad de cada fuente (A) por el factor de emisión (Fe) correspondiente, obteniéndose la emisión (E). Se utilizó una malla de 2048 celdas, dando una resolución espacial de 4 km. Dentro de la malla se encuentra ubicada la zona de estudio (ver Figura 15).

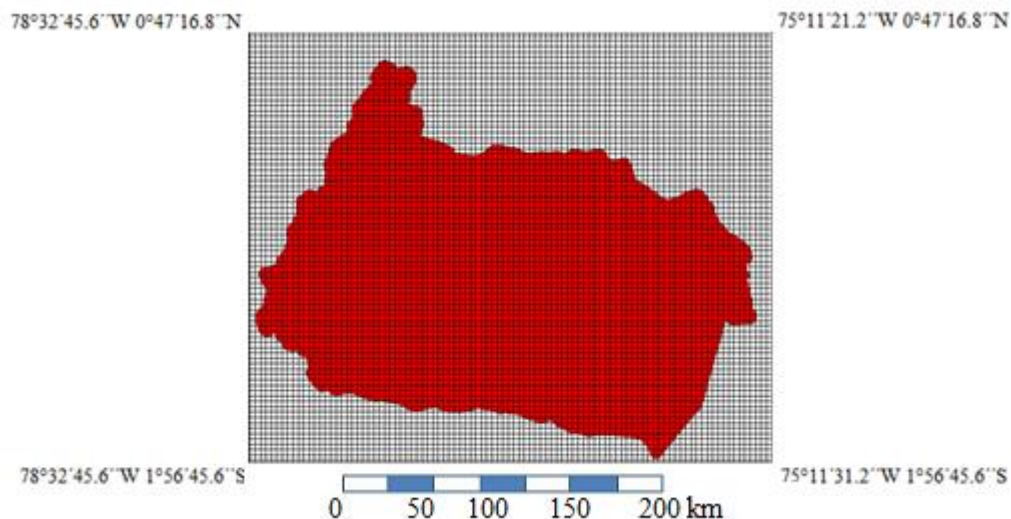


Figura 15: Zona de estudio dentro de malla.

Para estimar las emisiones antropogénicas totales de un contaminante en la celda k se hace uso de la ecuación 1, la cual se basa en el informe de buenas prácticas y manejo de incertidumbre del IPCC:

$$Emisión_i^k = \sum (FE_{ab}^k \times Actividad_{ab}^k) \quad (\text{Ecuación 1.})$$

Donde,

i = Contaminante (NO_x , CO , COV , SO_2 , PM_{10} o $\text{PM}_{2.5}$) o GEI (CO_2) de interés.

k = Número de celda

FE = Factor de emisión

Actividad = Actividad expresado en galones de combustible

a = Tipo de combustible o fuente

b = Fuente de emisión

4.4.1. Emisiones del tráfico vehicular

Definición del parque automotor

Para definir el parque automotor de la zona de estudio, se analizaron los registros de los vehículos matriculados proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2013), en los cuales se especifican la provincia en la cual fue matriculado, el tipo de automotor, el tipo de combustible que utiliza y el año de fabricación. No se obtuvieron

datos para los años 2011 y 2012, por lo tanto se utilizaron los datos de los reportes anuales de la Asociación de empresas automotrices del Ecuador (AEADE) para calcular un porcentaje de variación de vehículos en relación al año 2010. En base al reporte anual del año 2011 (AEADE, 2011), se estimó que el parque vehicular aumentó en un 5.84% en relación al año 2010. Para el año 2012, el reporte anual reportó un decremento en la venta de vehículos del 13.19% en relación al año 2011 (AEADE, 2012).

Partiendo de los datos indicados, se estructuró el parque automotor en las siguientes categorías: “automóviles”, “camionetas y furgonetas” (furgonetas tanto de carga como de pasajeros), “jeeps”, “pesados” (incluye volquetas, buses, camiones, colectivos, tráiler y tanqueros) y “motocicletas”. Los datos se agruparon en base a la información disponible para cada categoría, es decir: rendimiento del vehículo (km/gal), recorrido anual promedio (km/año) y los factores de emisión de contaminantes (g/km) para cada año de fabricación (Parra, 2014). Fue necesario aumentar una categoría, ya que dentro de los datos proporcionados por el INEC hay 244 vehículos (65 funcionando a gasolina y 174 a diésel) que no pertenecen a ninguna de las categorías mencionadas anteriormente.

Además, se diferenció dentro de cada categoría entre los vehículos que funcionan a gasolina y a diésel. En el caso de los vehículos a diésel, se distingue la categoría de “buses”, ya que los datos de rendimiento (km/gal), el recorrido anual (km/año) y los factores de emisión de contaminantes (g/km) se encuentran disponibles para este tipo de vehículo. Al no haber motocicletas a diésel matriculadas en la zona de estudio, no se toma en cuenta esta categoría.

Es relevante recalcar que en Ecuador se comercializan dos tipos de gasolina (súper y extra), y dos tipos de diésel (diésel Premium y diésel II). Para el cálculo de emisiones, se hace una diferencia entre los vehículos que funcionan a gasolina y los que funcionan a diésel. Sin embargo, dentro de estas dos categorías, no se tienen datos diferenciados para vehículos utilizando diferentes calidades de los respectivos combustibles. Por lo tanto, se utilizaron combustibles con las características especificadas por la empresa EP Petroecuador, es decir un solo tipo de gasolina y un solo tipo de diésel (Ver Tabla 5).

Tabla 5: Características de combustibles utilizadas para cálculo de emisiones del tráfico vehicular (EP Petroecuador, 2012).

Combustible	Contenido azufre (ppm)	Peso molecular (g/mol)	Densidad (g/gal)	Peso molecular SO ₂ (g/gal)
Diésel	462	236.55	3252.05	0.406
Gasolina	462	189.24	2453.08	0.406

La participación porcentual para cada categoría se muestra en el Anexo A, En la cual se toma en cuenta el año de fabricación y combustible que cada vehículo utiliza.

Al no disponerse de datos del recorrido típico y de rendimiento (Anexo A), tanto para vehículos a gasolina como para vehículos a diésel, de la categoría “otra clase”, se asumieron dichos valores en base a la información disponible.

Consumo de combustible

Con el dato de cantidad de vehículos por cada clase, el recorrido típico anual y el rendimiento de cada categoría, puede calcularse el consumo de combustible teórico anual de cada categoría, utilizando la ecuación 2:

$$\text{Consumo de combustible} \left(\frac{\text{gal}}{\text{año}} \right) = \frac{\text{Número de Vehículos} * \text{Recorrido anual} \left(\frac{\text{km}}{\text{año}} \right)}{\text{rendimiento} \left(\frac{\text{km}}{\text{gal}} \right)}$$

(Ecuación 2.)

Posteriormente, se compararon los datos de consumo de combustible calculado y los datos de consumo de combustible proporcionados por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH, 2013), con el objetivo de afinar el tamaño del parque vehicular en función de las ventas de combustibles. Esto permite tomar en cuenta los vehículos que no han sido matriculados y por lo tanto no constan en los datos del INEC. Se asumió la participación porcentual de cada categoría basado en los datos del INEC y se modificó el número de vehículos en la zona de estudio de manera de lograr un consumo similar al de las ventas para la zona de estudio, con la composición de parque automotor anteriormente definida.

Una vez establecido el número de vehículos, se calculó también el volumen de combustible consumido de cada una de las categorías, para los automotores a diésel y a gasolina. Cabe recalcar, sin embargo, que los datos de volumen de combustible vendido en la zona de

estudio, proporcionados por la ARCH, estuvieron desglosados por cantón y no por gasolinera. Por lo tanto, se asumió que todas las gasolineras de un mismo cantón vendieron un volumen similar de combustible, y se tomó en cuenta solo las que se encuentran dentro de la zona de estudio.

Factores de emisión

Los factores de emisión para contaminantes primarios del aire fueron los mismos utilizados por el Ministerio de Ambiente en los inventarios de emisiones de cantones del Proyecto de Calidad del Aire Fase III (MAE, 2013). Los mismos se encuentran en el Anexo A.

El factor de emisión de CO₂ se calculó utilizando la metodología recomendada por el IPCC, para la cual se usaron los datos del contenido de carbono (IPCC, 2006), el poder calorífico de los combustibles y la densidad de los combustibles proporcionados por EP Petroecuador (EP Petroecuador, 2013), y se asumió que todo el carbono se transforma en CO₂ (IPCC, 2006). Finalmente, se usó el rendimiento de vehículos de cada categoría para expresar el factor de emisión en función de los km recorridos. El cálculo se detalla en la ecuación 3 a continuación:

$$FE_{CO_2} \left(\frac{g}{km} \right) = \frac{[CC \left(\frac{g}{kg} \right) \times PC \left(\frac{kJ}{kg} \right) \times \rho \left(\frac{kg}{gal} \right) \times Factor\ comb]}{Rend \left(\frac{km}{gal} \right)} \quad (\text{Ecuación 3.})$$

Donde,

$$FE_{CO_2} = g\ CO_2\ km^{-1}$$

CC = Contenido de carbono en el combustible expresado en g C kJ⁻¹

PC = Poder calorífico del combustible expresado en kJ kg⁻¹

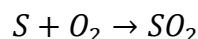
P = densidad del combustible expresado en kg gal⁻¹

Rend = rendimiento del vehículo en kg gal⁻¹

Factor comb = Factor de combustión 44 kg CO₂ por cada 12 kg C combustionado, expresado adimensionalmente.

Los factores de emisión para CO₂ se indican en el Anexo A.

Para el cálculo de las emisiones de SO₂, se asumió que todo el azufre contenido en los combustibles se transforma en SO₂ tal como se muestra en la siguiente semirreacción:



El contenido de azufre por galón se determina utilizando el contenido de azufre en ppm, el peso molecular de las moléculas de diésel y gasolina, y la densidad de los combustibles. Los datos de contenido de azufre y densidad de los combustibles fueron obtenidos de la empresa EP Petroecuador (EP Petroecuador, 2012) y los datos del peso molecular de las moléculas de los combustibles fueron obtenidos de investigaciones realizadas por el departamento de ingeniería química de la Universidad Central del Ecuador (Sinche, 2012). El factor de emisión de SO_2 se obtiene con la ecuación 4:

$$SO_2 \left(\frac{t}{a} \right) = \frac{V \times \rho \left(\frac{kg}{gal} \right) \times S \left(\frac{mg}{kg} \right)}{1 \times 10^{12}} \quad (\text{Ecuación 4.})$$

Donde,

SO_2 = Emisión de dióxido de azufre expresado en $t a^{-1}$

S = contenido de azufre en mg de azufre por kg de combustible

ρ = densidad del combustible en $kg gal^{-1}$

V = volumen de combustible expresado en galones.

Mapa vial de la zona de estudio

Para distribuir espacialmente las emisiones vehiculares, se debe contar con un mapa de intensidad de tráfico (ITM). Para su elaboración, se utilizó información de varias fuentes.

Los ejes georeferenciados de la zona de estudio fueron obtenidos del Catálogo Ecuador de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ, 2013). Se complementó el mapa de vías con documentos de cartografía de libre acceso del geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM, 2013). Los documentos del IGM incluidos en el estudio corresponden a las vías de Baeza, Tena, Puyo, Shell, San Sebastián del Coca, Shushufindi, La Joya de los Sachas, Tarapoa, Pacayacu y Tiputini. El resultado se visualiza en la Figura 16.

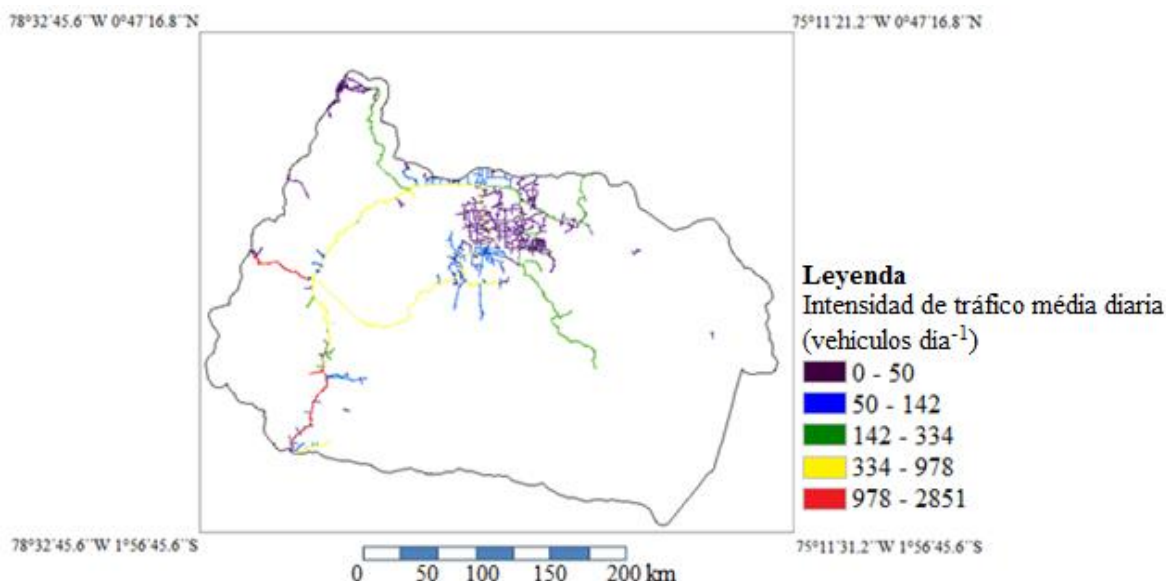


Figura 16: Mapa de intensidad vial del área de estudio.

Posteriormente se asignó un valor de ITM a las vías. Debido a que la información sobre el tráfico en la zona de estudio es escasa, la única fuente de información que pudo ser utilizada fue la ITM de las vías principales con interés turístico, que constan en el Boletín de estadísticas turísticas del período 2006-2010 (Ministerio de Turismo, 2012). Se asignó a las vías secundarias el 10% de la ITM de la vía principal con la que están conectadas.

Una vez asignada la ITM de las vías, se cortaron geográficamente los ejes de vías con la malla de 4 km, de manera de que cada tramo de vía quede dentro de la celda a la que pertenece. Posteriormente, se asignó a cada celda el valor de la suma de ITM de cada vía comprendida dentro de la misma, y se le asignó la fracción correspondiente de tráfico en función de la ITM total de la zona de estudio.

Finalmente, se distribuyeron las emisiones de cada contaminante en las celdas, en función del ITM y de la longitud de cada tramo de vía.

4.4.2. Emisiones de gasolineras

Gasolineras en la zona de estudio

Para poder identificar las gasolineras para el cálculo de emisiones, fue necesario trasladarse a la zona de estudio y tomar la ubicación, nombre y empresa a la cual pertenece cada gasolinera. Posteriormente, se complementó dicha información utilizando la base de datos de la página del club de viajes “VisitaEcuador”, la cual tiene un listado de

gasolineras a nivel de cantón (VisitaEcuador, 2013). La ubicación de las gasolineras que no se pudo obtener en el levantamiento de datos en la zona de estudio, pero que constaban en la página de VisitaEcuador, se asignó en base a las coordenadas dadas por el programa de sistema de información geográfica y fotografía satelital Google Earth. La ubicación de las gasolineras se muestra en la Figura 17.

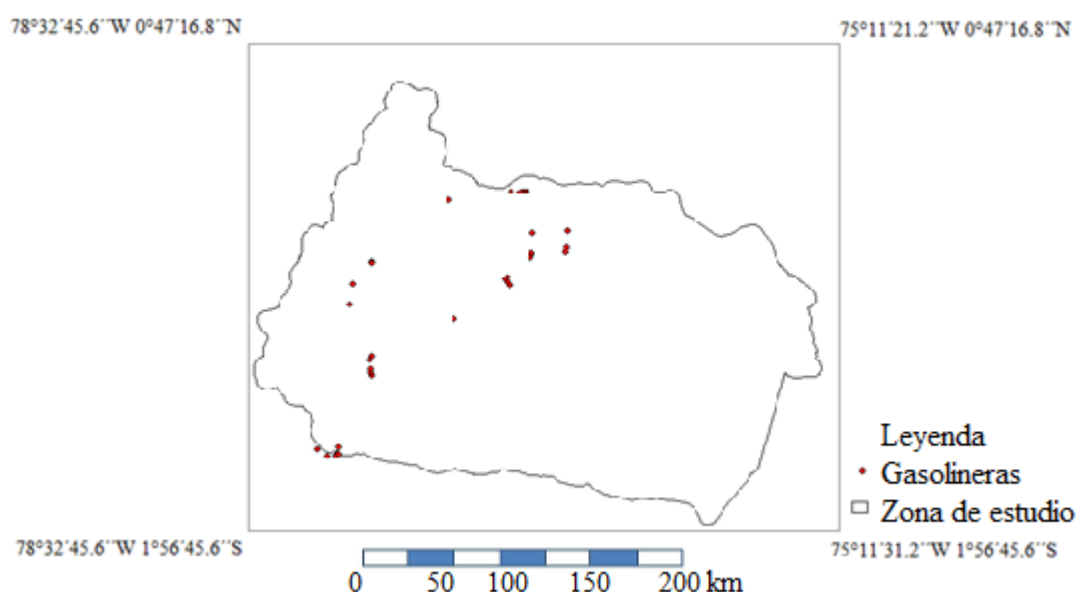


Figura 17: Ubicación de gasolineras en la zona de estudio.

Factores de emisión

Los factores de emisión que se utilizaron son los publicados en el documento referente a “Transporte y comercialización de líquidos provenientes de petróleo” del AP-42 de la Environmental Protection Agency, acerca de emisiones evaporativas de gasolineras (EPA, 1995). Se asumió que las gasolineras ecuatorianas utilizan un sistema de llenado subterráneo balanceado y que tienen un sistema de control de pérdidas de combustible por desplazamiento. Dicha asunción se basa en el hecho de que solo las estaciones de servicio muy antiguas no cuentan con esta tecnología. Los factores de emisión referentes a gasolineras cuyos sistemas cumplen con dichas características, así como el porcentaje que aporta cada proceso al factor de emisión total, se muestran en el Anexo B.

4.4.3. Emisiones de generadoras eléctricas

Generadoras eléctricas en la zona de estudio

Para identificar las generadoras eléctricas en la zona de estudio, así como su ubicación, se utilizaron los datos provenientes del Concejo Nacional de Electricidad (CONELEC). Se identificó también el nombre de cada central generadora y la empresa que la maneja (CONELEC, 2013).

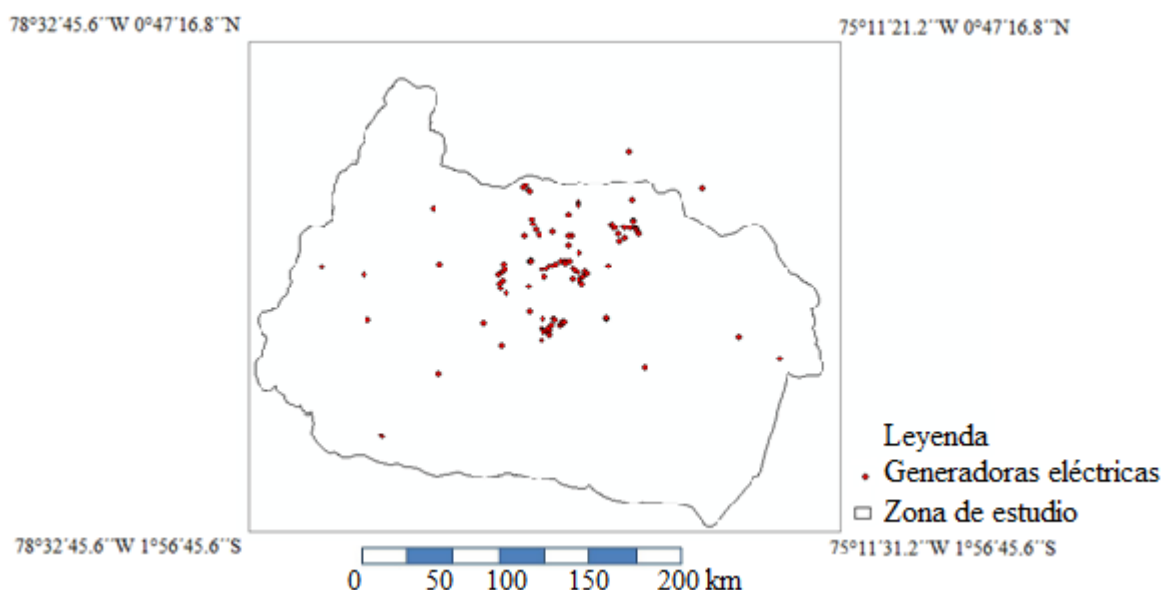


Figura 18: Ubicación generadoras eléctricas en la zona de estudio.

Como se muestra en la Figura 18, dos de las centrales de generación eléctrica se encuentran fuera de la zona de estudio (subestación Pto. del Carmen de la empresa CNEL-Sucumbíos y subestación Víctor Hugo Rúaless de la empresa Petroamazonas). Sin embargo se encuentran dentro del territorio ecuatoriano, y están dentro de la malla, por lo tanto se toman en cuenta dentro del cálculo de las emisiones.

Las estaciones de generación dentro de la zona de estudio están gestionadas por 10 empresas: Agip (3 estaciones), Andes Petro (36 estaciones), CELEC-Termopichincha (6 estaciones), CELEC-Sucumbíos (4 estaciones), EE Centro Sur (1 estación), OCP (4 estaciones), Petroamazonas (37 estaciones), Petroproducción (2 estaciones), Repsol (4 estaciones) y Sipec (4 estaciones). De las 101 estaciones de generación, 100 funcionan con un motor de combustión interna y tan solo una funciona con un motor turbogas (central generadora Repsol YPF-SSFD gestionada por la empresa Repsol).

Consumo de Combustible

El consumo de combustible para cada generadora eléctrica se detalla en el informe estadístico del sector Ecuatoriano para el año 2012 del CONELEC (CONELEC, 2012). En dicho informe se indica el tipo y la cantidad de combustibles fósiles consumidos por cada una de las centrales de generación dentro del país.

De las 101 estaciones ubicadas en la zona, 96 usan diésel II, 2 usan residuo de petróleo, 8 usan crudo reducido, 10 usan gas natural y una usa GLP. Cabe destacar que varias de las centrales generadoras usan más de un tipo de combustible. Los volúmenes consumidos para la generación de energía eléctrica se muestran en el Anexo C.

Factores de emisión

Los factores de emisión para las generadoras eléctricas se obtuvieron del capítulo 3 del AP 42 de la US Environmental Protection Agency (EPA, 2000) . Los datos proporcionados por la USEPA se encuentran en función del poder calorífico del combustible, por lo tanto se usa la información publicada en la página del Ministerio de Ambiente acerca de las características de los combustibles que la empresa Petroecuador produce (Tabla 6).

Tabla 6: Poder calorífico de los combustibles en el Ecuador (MAE, 2012)

Combustible	Poder Calorífico Neto (kJ/kg)
Diésel	41 800
GLP	45 269
Bunker	39 700
Gas Natural	46 500

Para expresar el factor de emisión en función del volumen de combustible consumido, se utilizó la ecuación 5. Cabe recalcar que todos los datos de la ecuación menos el factor de emisión (kg kJ^{-1}) corresponden a los combustibles locales.

$$FE \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] * P. cal \left[\frac{kJ}{kg} \right] * FEFC \left[\frac{kg}{kJ} \right] \quad (\text{Ecuación 5.})$$

Donde,

FE = Factor de emisión de contaminante o GEI expresado en $kg\ m^{-3}$

ρ = Densidad expresada en $kg\ m^{-3}$

P. cal = Poder calorífico del combustible expresado en $kg\ kJ^{-1}$

FEFC = factores de emisión de contaminante o GEI expresado en $kg\ kJ^{-1}$.

Los datos de densidad y contenido de azufre del diésel se obtuvieron del repositorio virtual de la empresa EP Petroecuador. El valor de la densidad fue de $845\ kg\ m^{-3}$ y el contenido de azufre fue de 0.7211% en peso (Pachacama Quinca, 2011). En el caso del residuo de petróleo (también llamado Bunker), se utilizó una densidad de $990\ kg\ m^{-3}$ y un contenido de azufre del 1.65% (Romero, 2011). Los datos del poder calorífico del crudo reducido se obtuvo de los informes del IPCC (IPCC, 2006) y el contenido de azufre utilizado es de 1.4455%, el cual proviene de análisis de petróleos ecuatorianos realizados por la Universidad Central del Ecuador (UCE, 2011).

La composición del GLP en el Ecuador es de 70% propano y 30% butano (EP Petroecuador, 2013). Dado que no se pudo conseguir datos locales sobre la densidad del GLP, se decidió usar un valor de la bibliografía, $1.9474\ kg\ gal^{-1}$, valor que corresponde al GLP de Perú, el cual es de composición similar (Osinergmin, 2011). El contenido de azufre se calculó a partir de la concentración máxima permitida en la producción de GLP de la empresa EP Petroecuador, que es de $0.343\ mg\ m^{-3}$ (Baldeón, 2005).

Los factores de emisión de contaminantes para el diésel se obtuvieron del capítulo 3.4 del AP 42, que hace referencia a MCI de gran tamaño, como es el caso de las generadoras eléctricas. Sin embargo, dicha sección solo toma en cuenta los motores que funcionan a diésel y los motores duales, más no los que funcionan con residuo de petróleo, GLP, crudo reducido o gas natural. Para estos combustibles, se utilizaron los factores de emisión de los capítulos 3.1, 3.2 y 3.3 del AP 42, los cuales hacen referencia de igual manera a MCI de fuentes estacionarias (EPA, 2000). Para el cálculo de los COVs no se pudo encontrar un factor de emisión ni para el residuo de petróleo ni para el crudo reducido. Por lo tanto se utilizó el mismo factor de emisión del diésel.

Para el gas natural y el GLP se asumió que el PM_{10} es igual al $PM_{2.5}$, debido a que estos son combustibles fósiles “limpios” con bajo contenido de azufre, por lo que la diferenciación entre el PM_{10} y el $PM_{2.5}$ no es necesaria (EPA, 1995). Los factores de emisión se encuentran en el Anexo C.

4.4.4. Emisiones de refinería

Refinería

La única refinería ubicada en la zona de estudio es la refinería Amazonas y Planta de Gas, anteriormente Complejo Industrial Shushufindi. Su ubicación se muestra en la Figura 19.

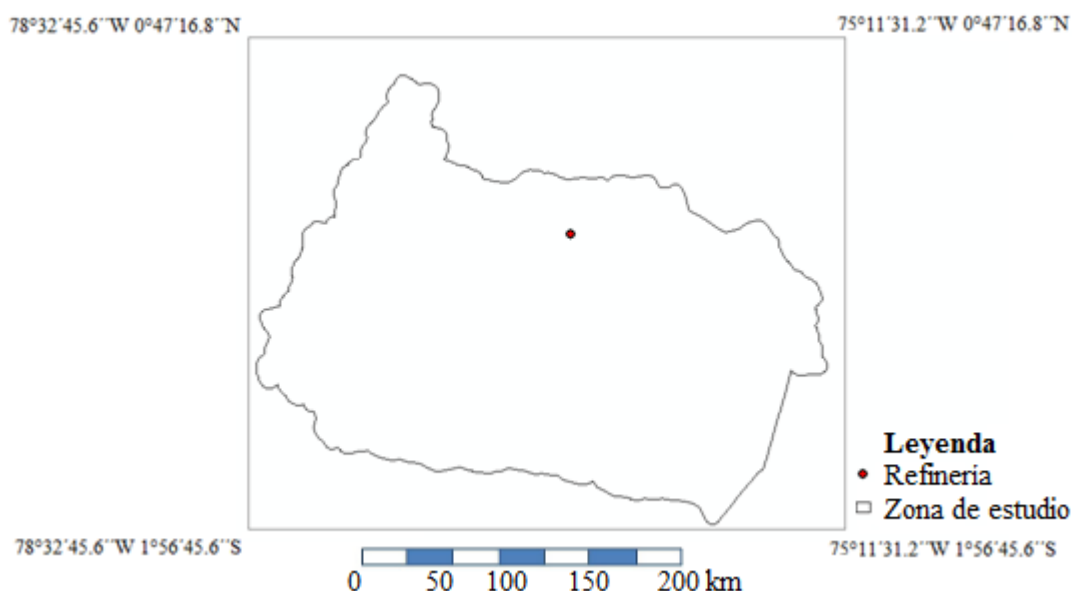


Figura 19: Refinería Amazonas y Planta de Gas dentro de zona de estudio.

Consumo de combustible

Para caracterizar las emisiones de la refinería se recopiló información del consumo de combustible interno y la producción anual. En el repositorio de la empresa EP Petroecuador se indica que para el año 2012, la refinería estuvo activa el 95% de los días calendario y procesó un total de 6 954 000 Bls., dando un promedio de 19 000 Bls/día. Adicionalmente, produjo 15 750 000 ft³/d de gas rico y 55 gal/min de licuables (EP Petroecuador, 2012). Asimismo, el consumo interno de combustible de la refinería para el año 2012 fue de 3241 Bls/mes. El combustible que se utiliza es el crudo reducido, el cual tiene un porcentaje de azufre de 1.72% en peso (Arellano, 2014).

Factores de emisión

Los factores de emisión se seleccionaron de las guías del Agencia Europea Ambiental (EEA, 2010), ya que dichos documentos dan factores de emisión promedio de refinerías que resultan representativos cuando solo se tienen los datos de consumo de combustible y de crudo que ingresa (Anexo D).

Los factores de emisión se encuentran en función del poder calorífico. Para expresar los factores de emisión en función del volumen de combustible, se usa la ecuación 6:

$$FE \left(\frac{t}{gal} \right) = FEPC \left(\frac{t}{TJ} \right) * P_{cal} \left(\frac{TJ}{t} \right) * \rho \left(\frac{t}{gal} \right) \quad (\text{Ecuación 6.})$$

Donde,

FE = Factor de emisión del contaminante expresado en $t \text{ gal}^{-1}$

FEPC= Factor de emisión del contaminante expresado en $TJ \text{ t}^{-1}$

P cal = Poder calorífico del combustible expresado en $TJ \text{ t}^{-1}$

ρ = densidad del contaminante expresado en $t \text{ gal}^{-1}$

El poder calorífico del crudo fue obtenido del mismo documento, ya que no se localizó esta información para el crudo ecuatoriano (Ver Tabla 7). La densidad del crudo reducido y crudo de alimentación para la refinería Amazonas fueron proporcionados por personal de la empresa EP Petroecuador (Arellano, 2014).

Tabla 7: Poder calorífico referencial de combustibles y entradas de refinería (IPCC, 2006)

Combustible	Poder calorífico (TJ/kt)
Crudo Reducido	40.19
Crudo de alimentación	44.80

Los factores de emisión para la Planta de Gas fueron obtenidos de los documentos de la US EPA (Tabla 8), que indica que las emisiones relevantes son las asociadas al proceso de endulzamiento del gas natural (EPA, 1995).

Tabla 8: Factores de emisión de contaminantes comunes para plantas de gas natural (EPA, 1995).

Proceso	SO ₂ (kg 10 ⁶ gal ⁻¹ d ⁻¹)
Endulzadora de gas	1531.81

4.4.5. Ubicación de las fuentes consideradas dentro de la zona de estudio

El mapa que incluye vías, gasolineras, generadoras eléctricas y la refinería se muestra en la Figura 20.

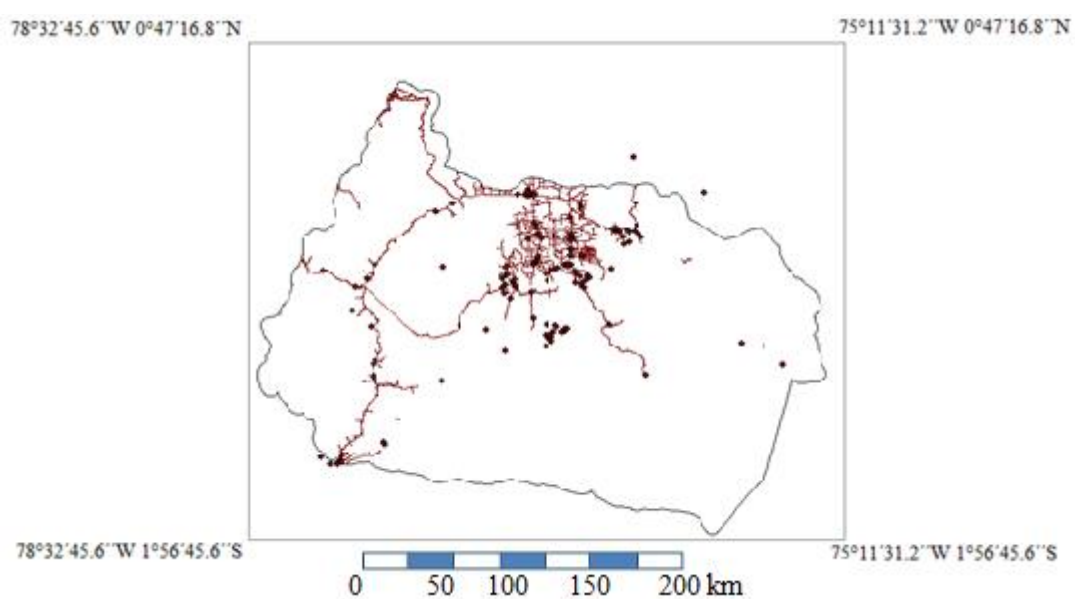
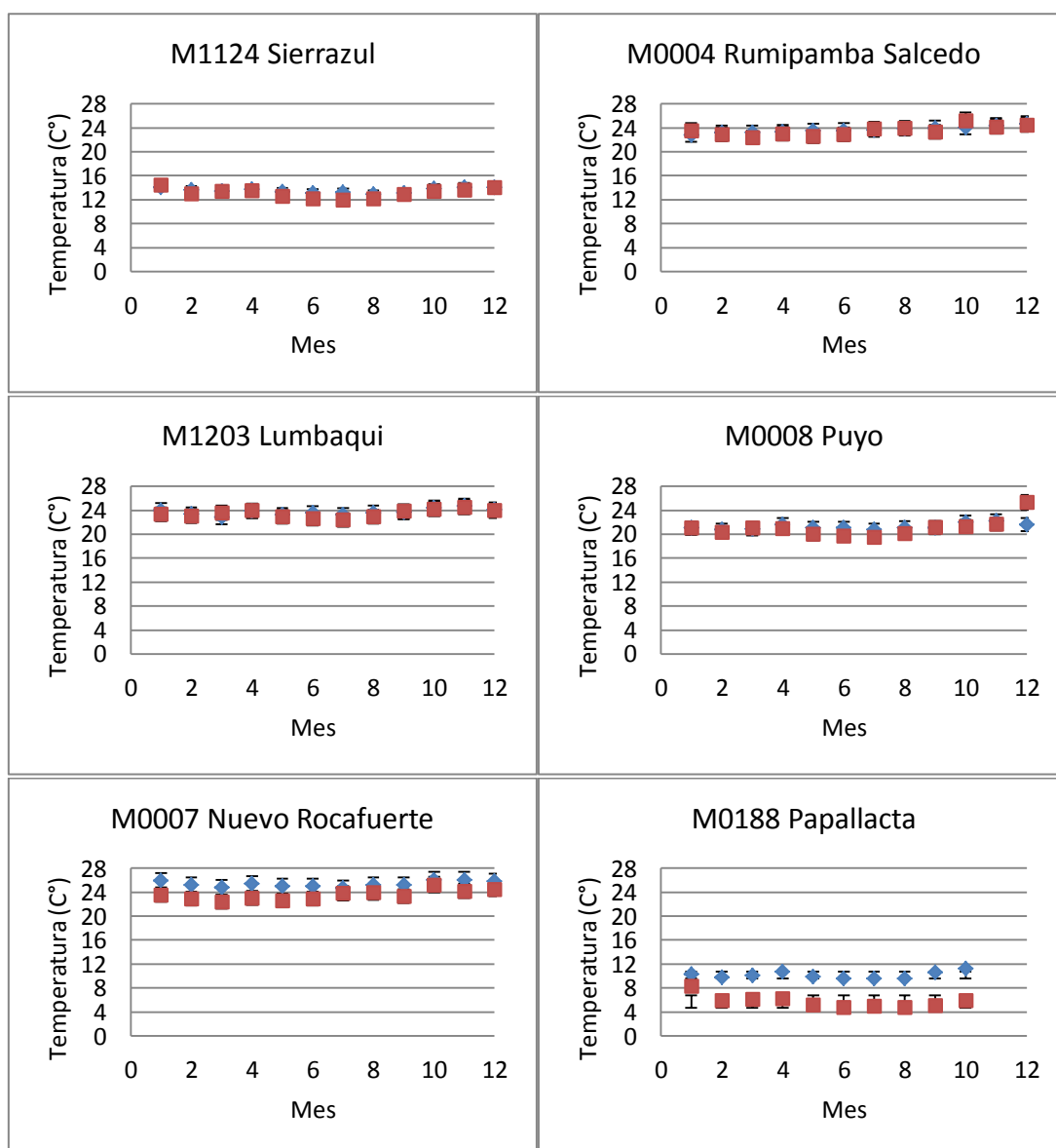


Figura 20: Generadoras eléctricas, gasolineras, vías y refinería en zona de estudio.

5. Resultados y Discusiones

5.1 Parámetros físicos

Inicialmente, se corroboró la similitud entre los datos obtenidos del modelo WRF para el año 2012 y los registros de las estaciones del INAMHI (ver Figura 21).



— INAMHI — WRF

Figura 21: Comparación registros INAMHI con resultados del modelo WRF para el año 2012 (INAMHI, 2013).

Sólo se pudieron comparar los registros de temperatura media, debido a que fue el único parámetro físico que se generó en el modelo WRF para el cual se obtuvieron los registros de las estaciones del INAMHI.

Los datos del modelo coinciden con los registros de las estaciones del INAMHI para 5 de las 6 estaciones (M0004 Rumipamba – Salcedo, M0007 Nuevo Rocafuerte, M0008 Puyo, M1124 Sierrazul y M1203 Lumbaqui), con diferencias menores a 1.7 °C. Los resultados del modelo para la estación M0188 Papallacta sí muestran diferencias significativas. Sin embargo, la estación M1124 Sierrazul se encuentra cerca a la estación M0188 Papallacta y los registros de la misma muestran una buena similitud con los datos del modelo WRF. Esto indica que probablemente la estación de M0188 Papallacta se encuentra ubicada en un área donde la temperatura varía, y dicha variación no puede ser reproducida por el modelo debido a que la resolución espacial del mismo no es suficientemente fina.

Cabe recalcar que el modelo no pudo reproducir correctamente los datos para diciembre, debido a un posible sesgo en las condiciones iniciales en la programación del modelo, mostrando diferencias con los registros del INAMHI de hasta 15 °C. Por lo tanto, se hizo un promedio entre los registros de noviembre y de enero para reemplazar los de diciembre. Al comparar dicho valor con los registros del INAMHI se encontró una diferencia máxima de 1°C, por lo tanto dicha aproximación es aceptable.

Para el año 2012, no hay datos de las estaciones del INAMHI en la zona de estudio de la radiación solar, la velocidad y dirección del viento, por lo tanto no se pudo comparar los parámetros modelados con los registros, y se asume que el modelo WRF fue capaz de modelar estos parámetros con una precisión aceptable.

5.1.1 Radiación solar

En las Figura 22 se pueden observar los mapas de radiación para la zona de estudio de los días promedio de cada mes elaborados con datos del modelo WRF para el año 2012.

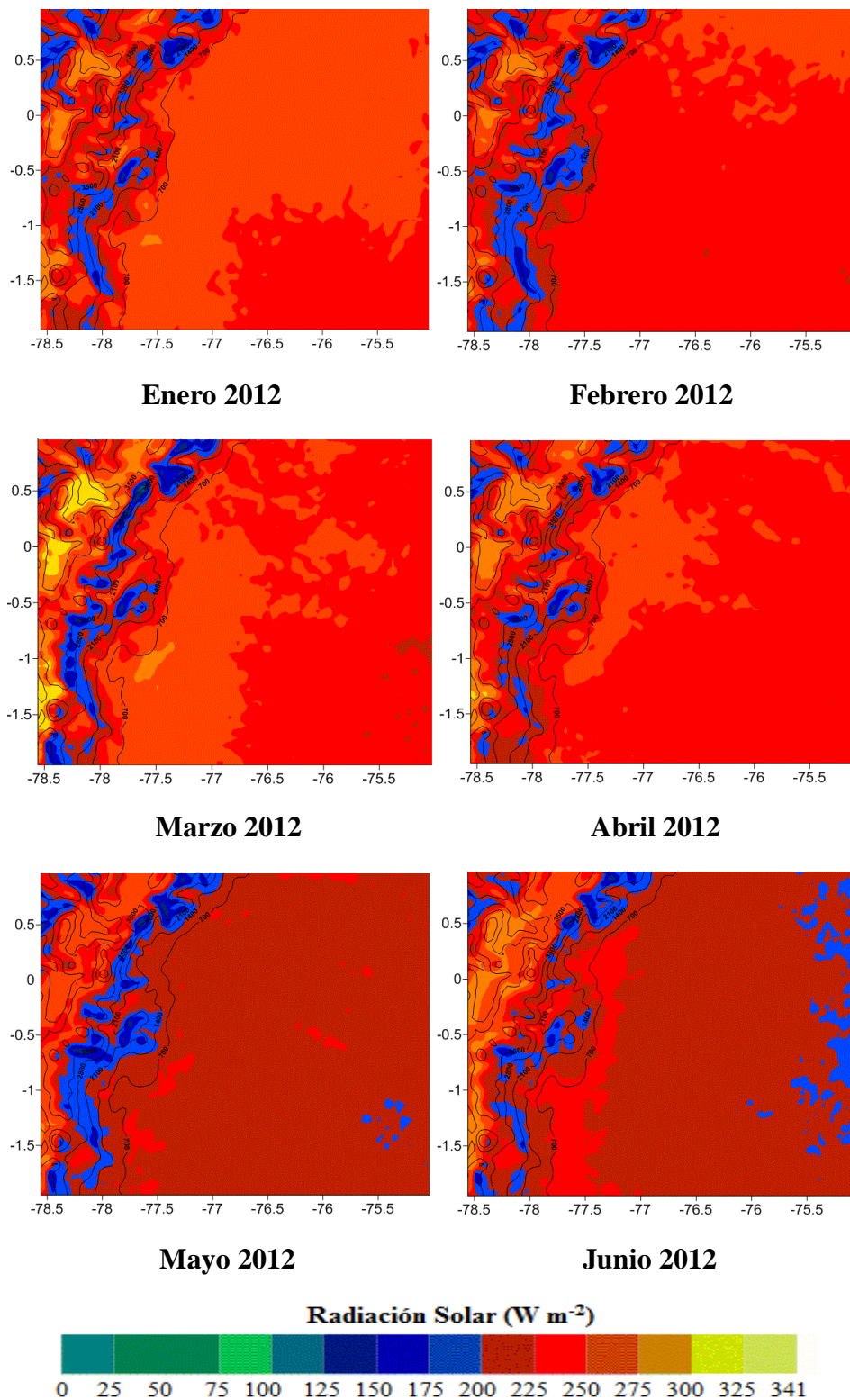


Figura 22: Mapas de radiación solar. Día promedio de cada mes para el año 2012 (1/2).

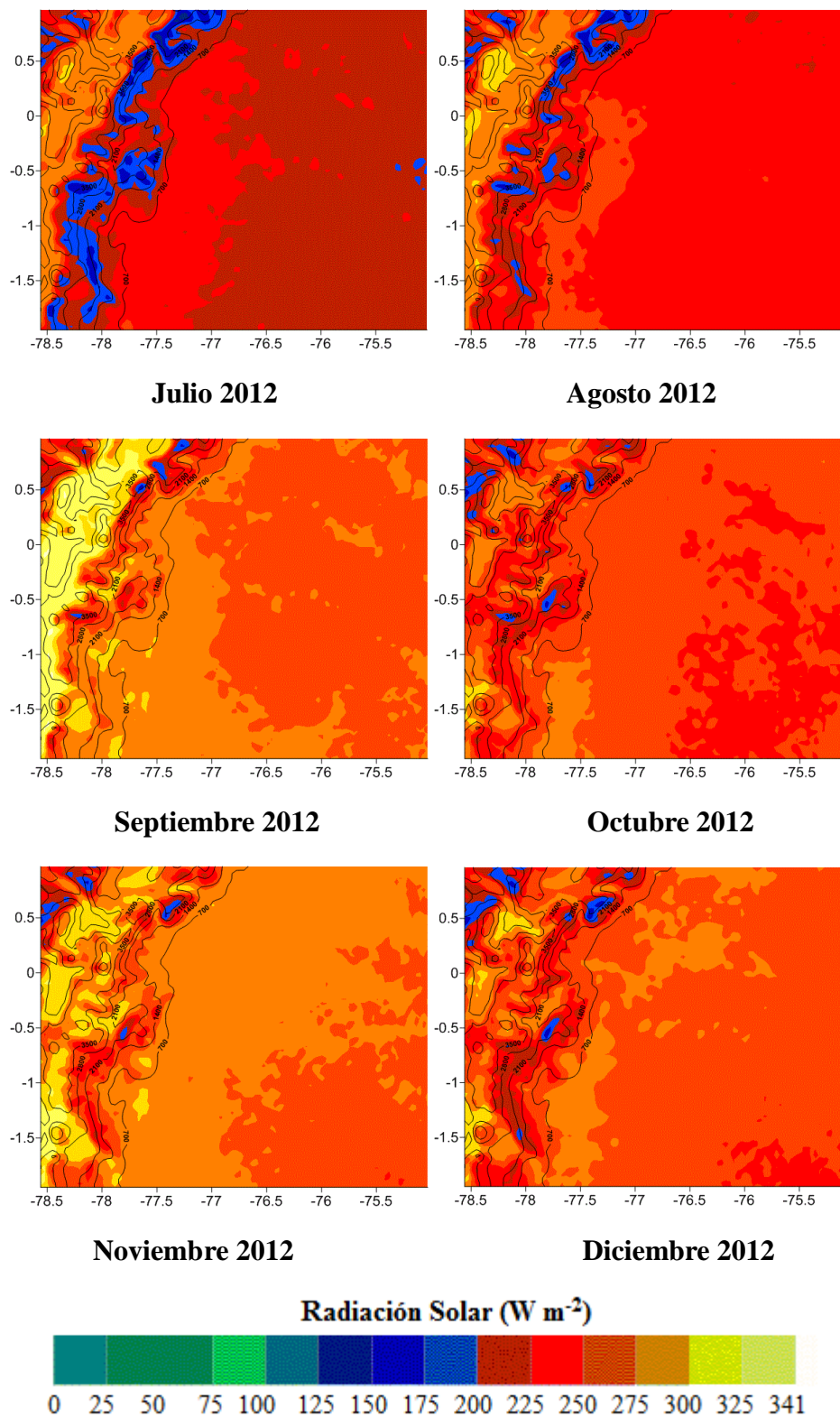


Figura 22: Mapas de radiación solar. Día promedio de cada mes para el año 2012 (2/2).

En términos generales, puede dividirse la zona de estudio en dos partes: la primera es la zona este de la cordillera, la cual tiene una altitud menor a 700 msnm y cubre 2/3 de la zona de estudio. La segunda es la zona de la cordillera, la cual tiene una altitud que va desde los 700 msnm hasta las nieves perpetuas.

Para los meses de invierno (entre enero y junio), la zona baja muestra una radiación solar menor que para los meses de verano, con valores entre 225 y 275 W m^{-2} para enero que van descendiendo hasta radiaciones en el rango entre 225 y 250 W m^{-2} , con zonas al este de la zona de estudio con radiaciones para junio entre 175 y 200 W m^{-2} . En la zona de la cordillera, se ven áreas entre los 2100 y los 3500 msnm donde la radiación oscila entre los 150 y 200 W m^{-2} , las cuales van aumentando de tamaño desde enero hasta junio, y cubren una mayor área en mayo. Por sobre los 3500 msnm, la radiación oscila entre los 225 y 300 W m^{-2} durante todo el invierno, con zonas que reciben radiaciones por sobre los 300 W m^{-2} en marzo. Para los meses de invierno, las radiaciones menores para la zona baja se registran en junio, mientras que en la zona alta se registran en mayo.

En los meses de verano (entre julio y diciembre), las radiaciones registradas son mayores. En la zona baja, mientras que julio y agosto registran radiaciones ligeramente mayores que las de los meses de invierno, los meses entre septiembre y diciembre muestran registros entre 250 y 300 W m^{-2} , con pequeñas zonas entre 225 y 250 W m^{-2} para octubre y diciembre. En la zona alta, las radiaciones en la zona entre los 700 y los 3500 msnm oscilan entre los 225 y 300 W m^{-2} , siendo menores para julio y aumentando hasta valores máximos en septiembre. Sobre los 3500 msnm, la radiación varía entre 275 y 341 W m^{-2} , siendo máxima en septiembre y noviembre.

El comportamiento mensual de la radiación solar concuerda con otros estudios realizados en la zona del Ecuador, entre ellos un estudio realizado por el National Renewable Energy Laboratory de los Estados Unidos (NREL), en el que se recopilaron datos desde el año 1985 hasta el año 2006, los cuales fueron corroborados con mediciones de campo y tienen un error menor al 10% (CONELEC, 2008). La variación de las irradiaciones promedio para todo el territorio Ecuatoriano se muestra en la Figura 23.

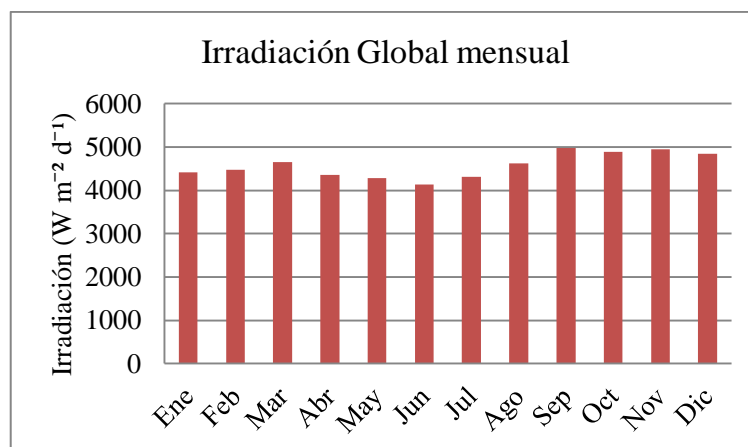


Figura 23: Irradiación global promedio para el territorio Ecuatoriano (CONELEC, 2008)

En el estudio realizado por el NREL los datos muestran que la radiación aumenta ligeramente de enero a marzo, y de abril a junio disminuye de manera continua. Dichos datos muestran también un pico en septiembre, un valor un poco menor en octubre, un aumento en noviembre y una ligera disminución en diciembre, comportamiento que coincide con los datos modelados.

La radiación mensual promedio se comporta acorde a la posición relativa de la Tierra con el Sol para el hemisferio Sur. De enero a marzo, hay una incidencia de radiación mayor, hasta llegar a finales de marzo (equinoccio de otoño), donde los rayos inciden perpendicularmente sobre la zona del Ecuador. Desde abril a junio, la Tierra se traslada desde el equinoccio hasta el afelio (solsticio de invierno), por lo que la radiación incidente irá bajando gradualmente hasta junio. Desde julio hasta diciembre, la radiación irá aumentando gradualmente con un máximo entre septiembre y octubre. Adicionalmente, debido a que el Ecuador está ligeramente más cerca del Sol cuando se traslada desde el solsticio de invierno al de solsticio de verano, los niveles de radiación serán ligeramente mayores entre julio a diciembre que los niveles entre enero y junio.

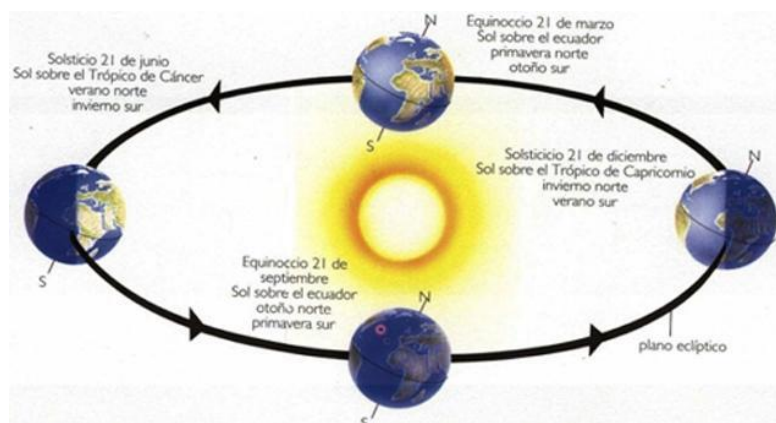


Figura 24: Posiciones de la Tierra en relación al Sol a lo largo del año (Efecto Noticias, 2013)

Se elaboraron también mapas de los promedios de cada hora de agosto (ver Figura 25) a fin de observar la evolución de la radiación solar a lo largo del día. Debido a que la radiación solar tiene un valor de 0 W m^{-2} en las horas nocturnas, no se han incluido los mapas correspondientes a dichas horas.

Para agosto, se puede observar que a la hora 7, la radiación solar en la parte baja de la zona de estudio tiene valores de 0 a 50 W m^{-2} para la parte Oeste y valores de 50 a 100 W m^{-2} en la parte Este. La radiación irá aumentando a lo largo del día hasta la hora 12, donde los valores para la zona Oeste oscilan entre 700 y 900 W m^{-2} .

En la zona alta, a la hora 7 se tienen valores predominantemente entre 50 y 100 W m^{-2} , con algunas zonas donde la radiación está entre 0 y 50 W m^{-2} . La radiación va aumentando hasta la hora 13, donde las áreas con alturas entre 700 y 3500 msnm tienen radiaciones que fluctúan entre valores de 500 y 900 W m^{-2} , mientras que por sobre los 3500 msnm , la zona que tiene niveles entre 900 y por sobre 1000 W m^{-2} cubre casi toda la zona.

A la hora 14, la mayor parte de la zona baja tiene valores entre 700 y 850 W m^{-2} , con pocas zonas que tienen valores de radiación en el rango entre 850 y 900 W m^{-2} ubicadas en la zona Oeste, pegada a la cordillera. En la zona alta, las zonas entre los 700 y los 3500 msnm tienen valores de radiación entre los 600 y 800 W m^{-2} . Por sobre los 3500 msnm , los valores oscilan entre los 800 y los 1000 W m^{-2} , con grandes zonas con valores entre los 850 y 900 W m^{-2} . La radiación irá descendiendo hasta que para la hora 18, toda la zona tiene valores entre 0 y 50 W m^{-2} .

A continuación, se muestran los mapas de radiación solar promedio para cada hora para agosto del 2012.

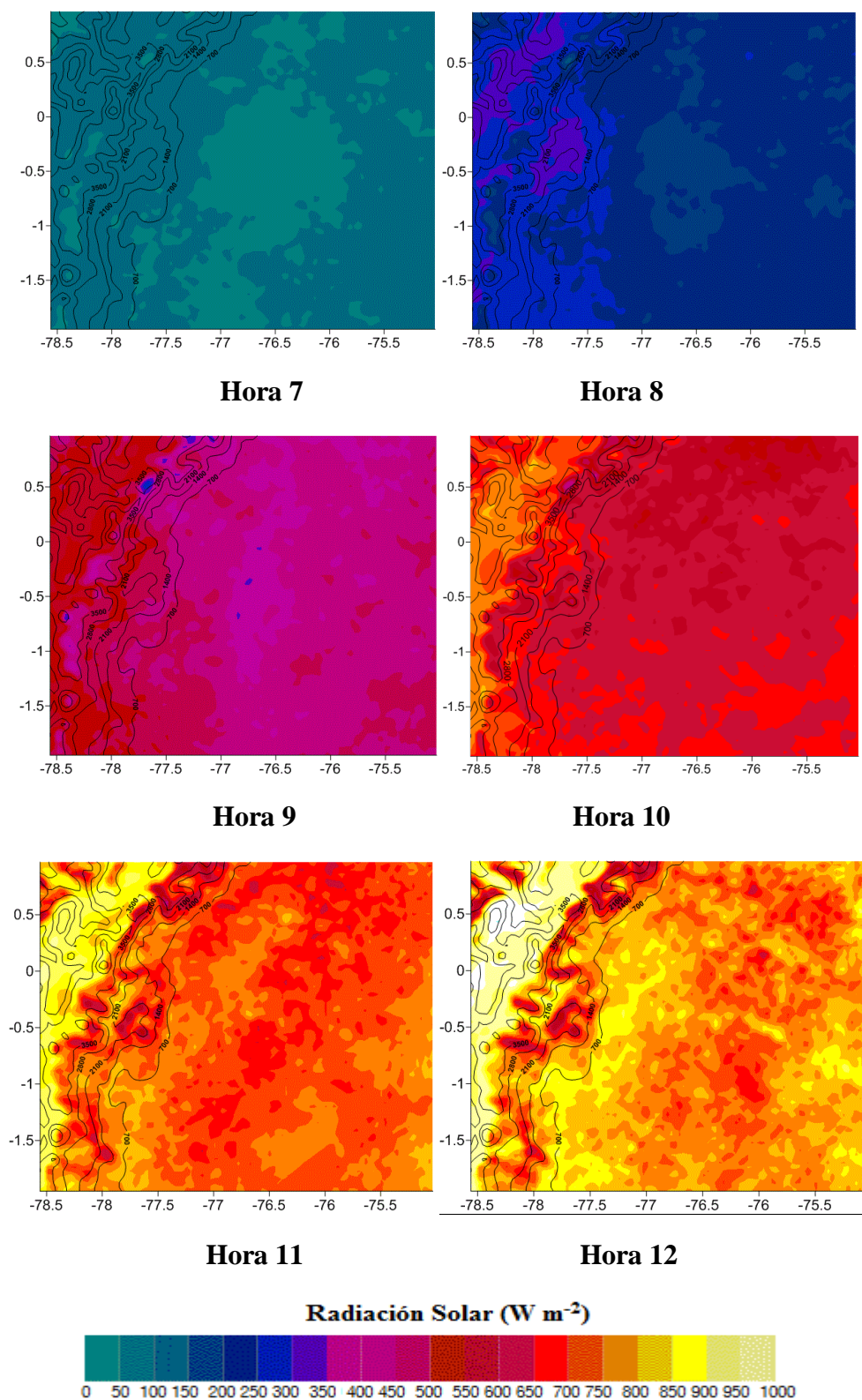


Figura 25: Mapas de radiación solar. Valor promedio de cada hora para agosto 2012 (1/2).

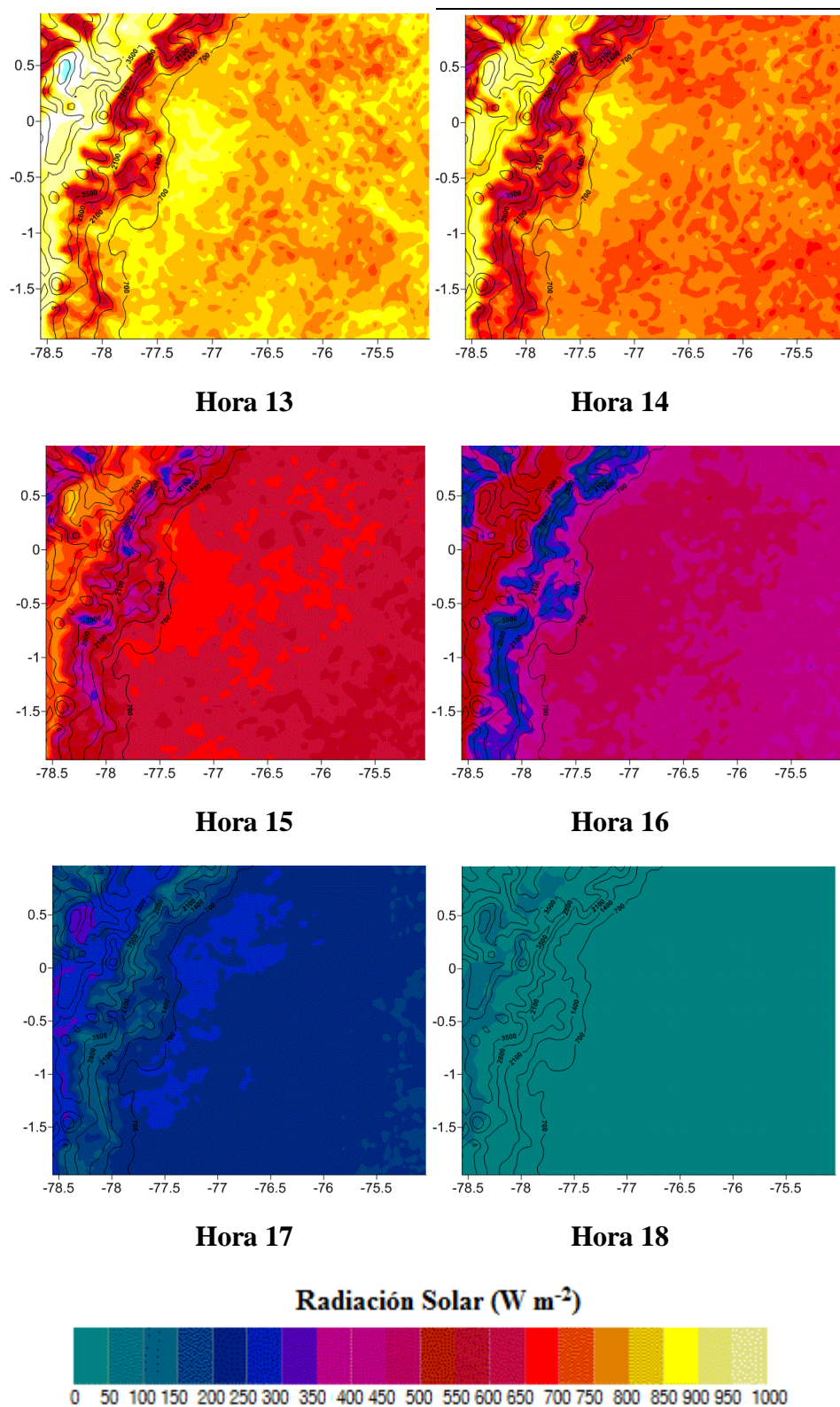


Figura 25: Mapas de radiación solar. Valor promedio de cada hora para agosto 2012 (2/2).

5.1.2 Temperatura, dirección y velocidad del viento

En la Figura 26, se observan mapas de velocidad y dirección del viento (flechas) sobre temperatura (escala de colores) para la zona de estudio para cada mes del año 2012.

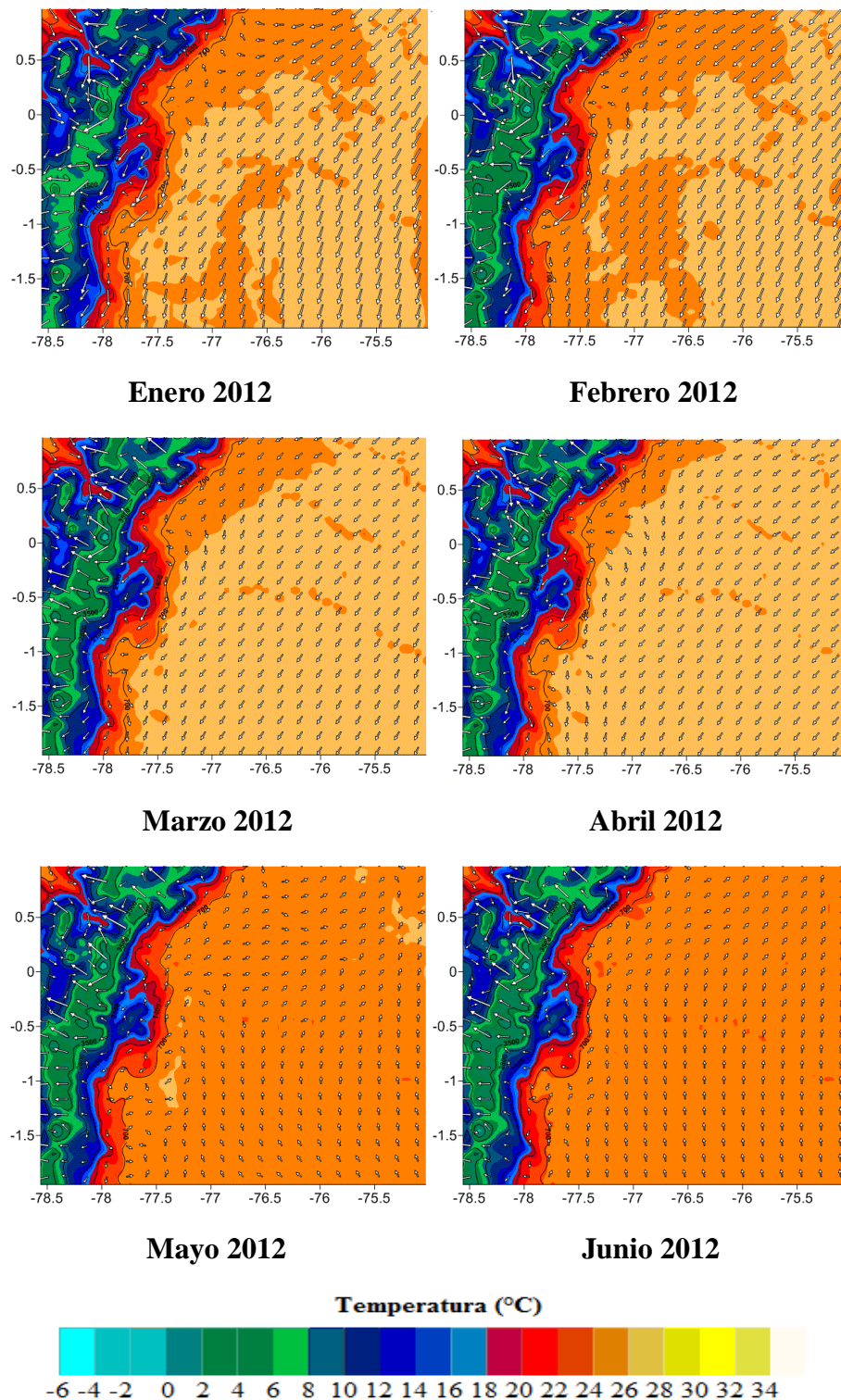


Figura 26: Mapas de velocidad y dirección del viento sobre temperatura. Valor promedio de cada mes para año 2012 (1/2).

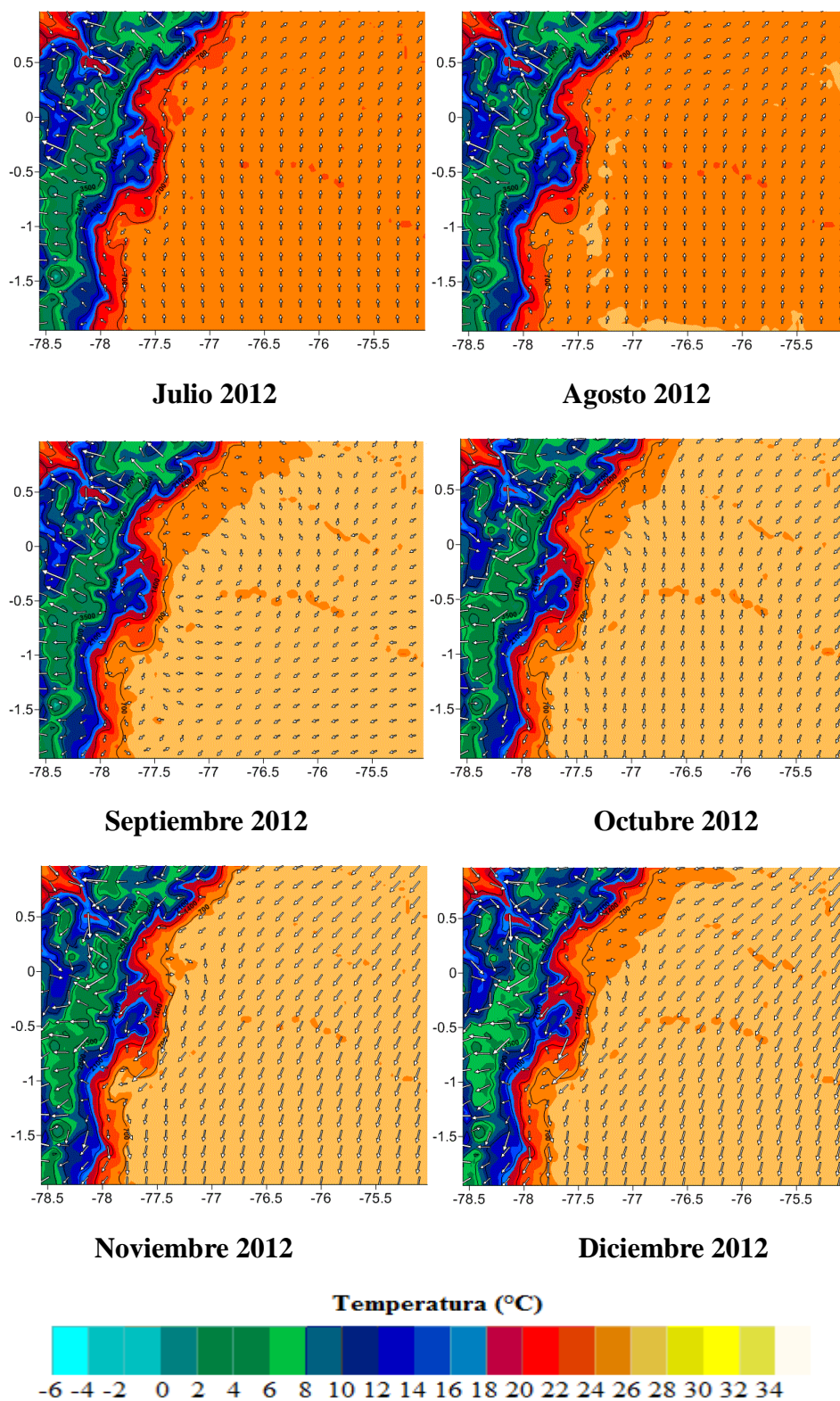


Figura 26: Mapas de velocidad y dirección del viento sobre temperatura. Valor promedio de cada mes para año 2012 (2/2).

Para los meses de invierno, la temperatura en la zona baja oscila entre los 24 y 28 °C. Entre enero y abril, el área con temperaturas entre 26 y 28 °C cubre la mayor parte de la zona baja, mientras que para mayo y junio la temperatura desciende y oscila entre 24 y 26 °C de manera uniforme. En la zona alta, la temperatura disminuye a medida que aumenta la altitud; entre los 700 y los 1400 msnm, la temperatura oscila entre 20 y 24 °C. Entre los 1400 y 2100 msnm, la temperatura varía entre 16 y 20 °C. Entre los 2100 y los 3500 msnm, la temperatura varía entre los 8 y 12 °C. Finalmente, por sobre los 3500 msnm, la temperatura varía entre los 2 y 10 °C, con zonas con temperaturas entre los 0 y 2 °C entre febrero y junio. En la zona alta, la temperatura es máxima en marzo y es mínima en junio.

En los meses de verano, la temperatura es mayor. Para julio, la temperatura en la zona baja desciende levemente, mientras que en la zona alta no se evidencian cambios notables. A partir de agosto, la temperatura aumenta en la parte baja; la mayor parte del área tiene temperaturas entre 26 y 28 °C, con áreas pegadas a la cordillera donde la temperatura oscila entre 24 y 26 °C.

En la parte alta, entre los 700 y los 2100 msnm, la temperatura oscila entre los 20 y 26 °C. Entre los 2100 y los 3500 msnm, la temperatura varía entre 6 y 10 °C. Por sobre los 3500 msnm, la temperatura varía entre los 2 y los 8 °C. En la parte alta, la temperatura es mayor en diciembre, y es menor en julio.

Puede observarse que la temperatura en la zona de estudio, a lo largo del año, es bastante constante. Este hecho se debe a la latitud en la cual se encuentra ubicada la misma; al encontrarse en el Ecuador, la posición de la Tierra con respecto al Sol varía menos, por lo tanto las estaciones no se definen propiamente y la temperatura varía poco.

El comportamiento de la temperatura en el planeta depende de una serie de factores; la radiación solar incidente es una de los parámetros más importantes para determinar la temperatura ambiental en un área (Casas et al., 1999). Para la zona de estudio en concreto, se puede observar que los aumentos y disminuciones de la temperatura a lo largo de los meses del año corresponden a la posición relativa del planeta Tierra con el Sol, con una disminución de temperatura en el período de diciembre (solsticio de verano) a marzo (equinoccio de otoño). Posteriormente, se observa una disminución de la temperatura continua hasta junio (solsticio de invierno). A partir de junio, la temperatura irá

aumentando paulatinamente hasta septiembre, donde nuevamente el sol incide de manera perpendicular sobre el Ecuador. Finalmente, se ve un incremento de temperatura en octubre y noviembre, hasta llegar a diciembre (ver Figura 24). Para la parte de la cordillera, se observa un descenso de la temperatura, debida al gradiente térmico vertical ($6.5\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$) y que se evidencia en los datos generados por el modelo WRF, donde cada 700 m se muestra un descenso entre 4 y $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que resulta congruente con estudios realizados para la zona de la Amazonía ecuatoriana, donde el gradiente térmico vertical es de $3\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$ (OAS Department of Sustainable Development, 1987). En las faldas orientales de la cordillera, la temperatura es siempre menor, debido no solo al gradiente térmico vertical, sino también a que en esta zona se condensan grandes masas de vapor provenientes de la selva amazónica, y que provocan que la zona se encuentre densamente nublada. Esta niebla provoca una menor incidencia de la radiación en la superficie, haciendo que la temperatura sea más baja (Ecuaworld, 2013).

Los vientos predominantes para los meses de invierno, en la parte baja de la zona de estudio en las zonas pegadas a la cordillera, son catabáticos. En el resto de la parte baja, entre enero y abril, los vientos en la parte Sur de la parte baja provienen del Norte – Noreste. En mayo y junio, los vientos cambian drásticamente de dirección, proviniendo del Sur en la parte Sur y central de la parte baja, y del Oeste – Suroeste en la parte Norte, debido a la migración de la ITCZ. En la parte alta de la zona de estudio, no se encuentra un patrón definido de dirección del viento. En términos generales, el viento proviene del Este – Noreste, y en ciertas partes apunta hacia el Este – Sureste. Se observa además una mayor velocidad del viento en enero y febrero, y una menor velocidad en mayo y junio.

En los meses de verano, el comportamiento del viento es más complejo. Para julio y agosto, la dirección del viento varía muy poco en la zona baja, proviniendo cada vez más desde el Sur, mientras que en la zona alta, los vientos anabáticos permanecen invariantes.

En septiembre, el cambio en la dirección del viento en la parte baja es muy evidente. Los vientos en la parte Sur provienen del Norte- Noroeste, mientras que en la parte Central provienen del Norte, y en la parte Norte provienen de la cordillera, es decir del Oeste. En la parte pegada a la cordillera, se forma una especie de ciclo donde en la zona Norte hay vientos anabáticos y la dirección va variando de manera que en la parte Central, hay

vientos catabáticos. En la parte alta de la zona, la velocidad del viento no varía mucho, sin embargo para toda la zona alta aparecen vientos anabáticos.

Entre octubre y diciembre, el viento para la zona baja proviene desde el Norte – Noreste, mientras que en la parte alta, la velocidad de los vientos anabáticos aumenta.

La velocidad del viento máximo en los meses de verano se da en noviembre y diciembre, mientras que la velocidad mínima se da en julio y agosto.

Resulta evidente el comportamiento complejo del viento en la zona de estudio. Sin embargo, puede notarse algunos patrones. Para los meses que van desde octubre hasta abril, la dirección del viento tiende a provenir del Norte, mientras que para meses entre mayo y septiembre, el viento proviene del Sur. Este fenómeno se debe a que la ITCZ se desplaza hacia el Norte entre mayo y junio, por lo tanto el viento que converge en la misma, para la zona de estudio, proviene del Sur. Por el contrario, entre octubre y abril, la ITCZ se encuentra al Sur de la zona de estudio, Por lo tanto los vientos que convergen a la misma provienen del Norte.

Se elaboraron también mapas de velocidad y dirección del viento (flechas) sobre temperatura (escala de colores) para la zona de estudio de las 24 horas de un día promedio del mes de agosto del año 2012 (Ver Figura 27).

Para la hora 0, la mayor parte de la zona baja tiene temperaturas entre los 24 y 26 °C. En la zona alta, la temperatura oscila entre los 18 y 24 °C para la zona entre 700 y 1400 msnm, entre 12 y 16 °C entre los 1400 y los 2100 msnm, entre 4 y 10 °C para las zonas entre los 2100 y los 3500 msnm, y temperaturas entre los 2 y 8 °C para zonas por sobre los 3500 msnm (una pequeña zona llega a temperaturas entre los -2 y los 0 °C). Dichas temperaturas van descendiendo hasta la hora 6, donde se registra la menor temperatura. Para la hora 9, la parte de la zona baja muestra temperaturas entre 24 y 28 °C. Las temperaturas en la parte alta también empiezan a aumentar; la zona entre los 700 y 1400 msnm pasa a tener temperaturas entre los 20 y 24 °C. En la zona entre los 1400 y los 2100 msnm, la temperatura aumenta también y se hace más uniforme, oscilando entre 20 y 22 °C. Por sobre los 3500 msnm, la temperatura también aumenta. La temperatura continúa aumentando hasta la hora 15, donde la mayor parte de la zona baja alcanza temperaturas entre los 30 y 32 °C. Entre los 700 y los 1400 msnm, la temperatura alcanza valores entre

26 y 32 °C, entre los 1400 y los 2100 msnm entre 22 y 26 °C, Entre los 2100 y los 3500 msnm entre los 8 y los 18 °C y por sobre los 3500 msnm, la temperatura oscila entre los 2 y los 8 °C.

La temperatura empieza a descender a partir de la hora 15, y continúa descendiendo hasta la hora 18, hora a la cual empieza a anochecer. A esta hora, la temperatura en la parte baja oscila entre los 24 y los 28 °C. En la parte alta, la temperatura también descende. En la zona entre los 2100 y los 3500 msnm, la temperatura varía entre los 6 y los 12 °C, y por sobre los 3500 msnm, la temperatura baja a rangos entre 2 y 6 °C. Se observa una pequeña área donde la temperatura oscila entre los -2 y 0 °C. La temperatura en la zona sigue bajando hasta la hora 0.

La velocidad y dirección del viento en agosto para la hora 0, en la parte baja, proviene del Oeste. A medida que el viento va hacia la parte Este de la zona baja, cada vez proviene más del Suroeste, sobre todo en la parte Sur de la cuenca. En la parte alta, por debajo de los 3500 msnm, vientos catabáticos descienden a las faltas orientales. Por sobre los 3500 msnm, los vientos catabáticos descienden hacia las faltas occidentales de la cordillera. Para la hora 6, el viento en la parte baja varía mucho. En la parte baja pegada a la cordillera se ven vientos catabáticos, pero a medida que el viento llega a la zona central de la parte baja, el viento proviene del Sur. En la parte norte de la zona baja, el viento proviene del Norte, Noroeste y Oeste. En la parte alta, la dirección del viento varía poco.

La dirección del viento continúa variando hasta la hora 12, donde el mismo en la zona baja proviene del Sur, a excepción de la zona pega a la cordillera, donde el viento proviene del Sureste. En la parte alta, desde los 700 a los 3500 msnm, se ven vientos anabáticos. Por sobre los 3500 msnm, el viento permanece invariante. La dirección del viento continúa variando hasta la hora 18, donde el viento en la parte baja proviene del Sureste y del Sur. En la parte alta de la cuenca, se ven vientos catabáticos. Por sobre los 3500 msnm, la dirección del viento varía poco, sin embargo la velocidad aumenta considerablemente. Desde la hora 21 hasta la hora 0 el viento en la parte baja tiene una transición, en la cual la dirección del viento pasa de provenir del Suroeste y empieza a tener un comportamiento cada vez más complicado como el que se menciona anteriormente para la hora 0.

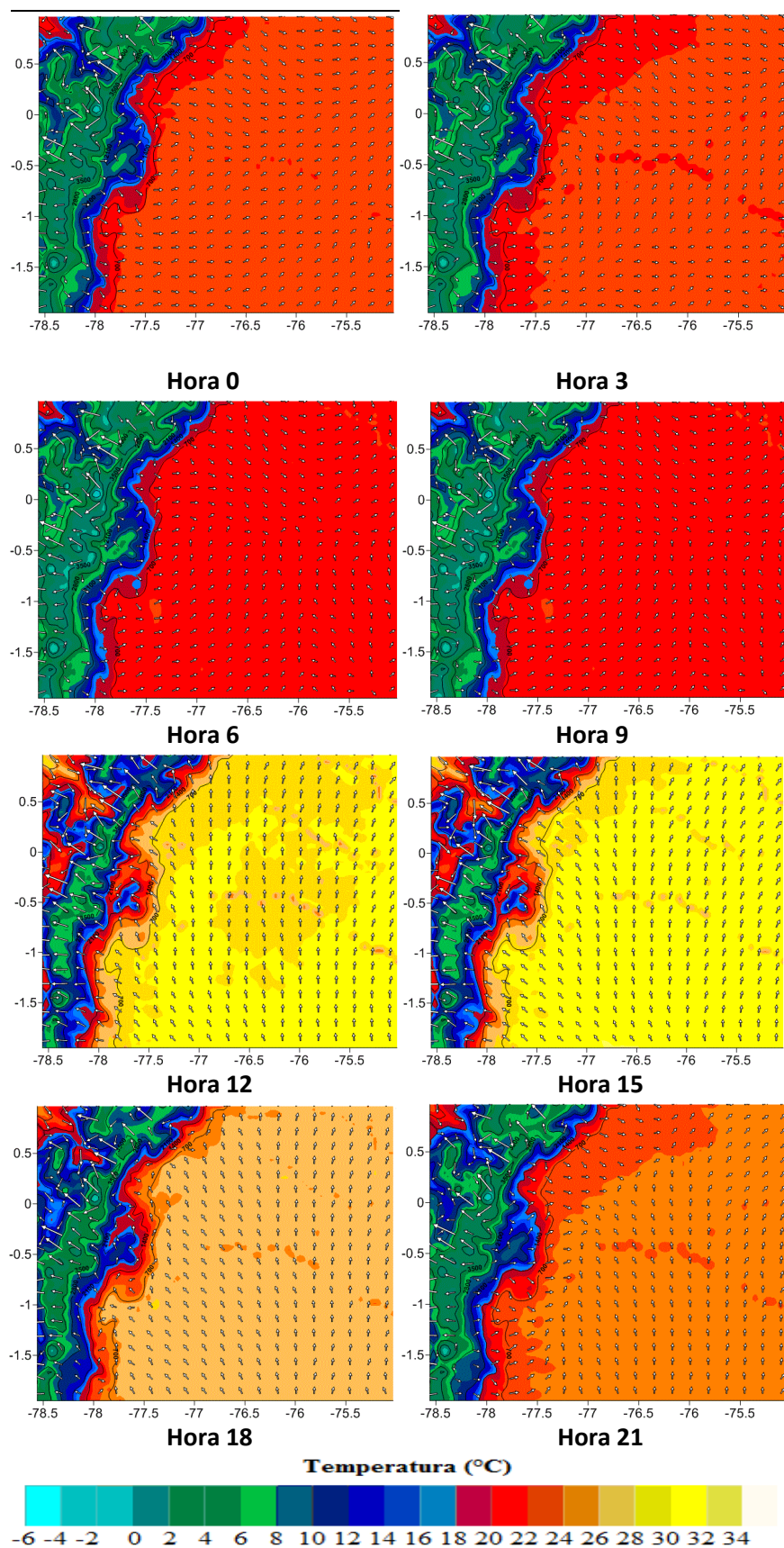


Figura 27: Mapas de velocidad y dirección del viento sobre temperatura. Valor promedio de cada hora, cada 3 horas, para agosto 2012.

5.2 Inventario de Emisiones

5.2.1 Tráfico vehicular

El parque vehicular, en base a la venta de combustibles, fue de 85 720 vehículos, mientras que el INEC indica que en la zona se habían matriculado 45 838 vehículos hasta el año 2010 (INEC, 2013). Asumiendo que los datos del INEC tienen un crecimiento global del parque vehicular de 7.26%, porcentaje de crecimiento del parque vehicular reportado por la AEADE (AEADE, 2012); se obtiene un parque de 49 165 vehículos. Esto indica que el 41.92% de los vehículos en la zona de estudio no estarían matriculados.

Calculando el consumo de combustible de estos 85 720 vehículos se obtiene un consumo de 33 143 481 gal de diésel y 25 329 420 gal de gasolina anuales. Si bien el consumo estimado de diésel es aproximado al reportado en las estadísticas de la ARCH, el consumo de gasolina varía en un 12.76%, por lo que se incrementó el parque a gasolina en un 10% a fin de reducir esta diferencia. De esta manera, el parque automotor es de 92 871 vehículos (12 862 funcionan a diésel y 80 009 a gasolina). Por lo tanto, el consumo de gasolina teórico se eleva a 27 870 319 gal, con una diferencia de 4.01% en relación al consumo reportado por la ARCH y reduciendo la diferencia de la estimación de consumo de combustibles a un 1.86% (Ver Tabla 9). La composición final del parque vehicular se muestra en el Anexo A.

Tabla 9: Consumo de combustible teórico, real y diferencia porcentual para parque vehicular de 92 871 vehículos.

Consumo Combustible			
Combustible	Estimado* (gal)	ARCH** (gal)	Diferencia (%)
Diésel	33 136 601	33 130 930	0.02
Gasolina	27 870 379	29 035 315	4.01
Error Estimación (%)			1.86

*Consumo calculado en base al recorrido anual y rendimiento teóricos.

**Estadística de venta de combustibles de la ARCH (ARCH, 2013-B)

Una vez establecido el consumo de combustible teórico, se calculó las emisiones para cada una de las categorías y año de fabricación de los vehículos (Ver Anexo A).

Dichas emisiones fueron repartidas espacialmente, para obtener indica la distribución de las emisiones de contaminantes que se muestra en las Figuras 28 a 33.

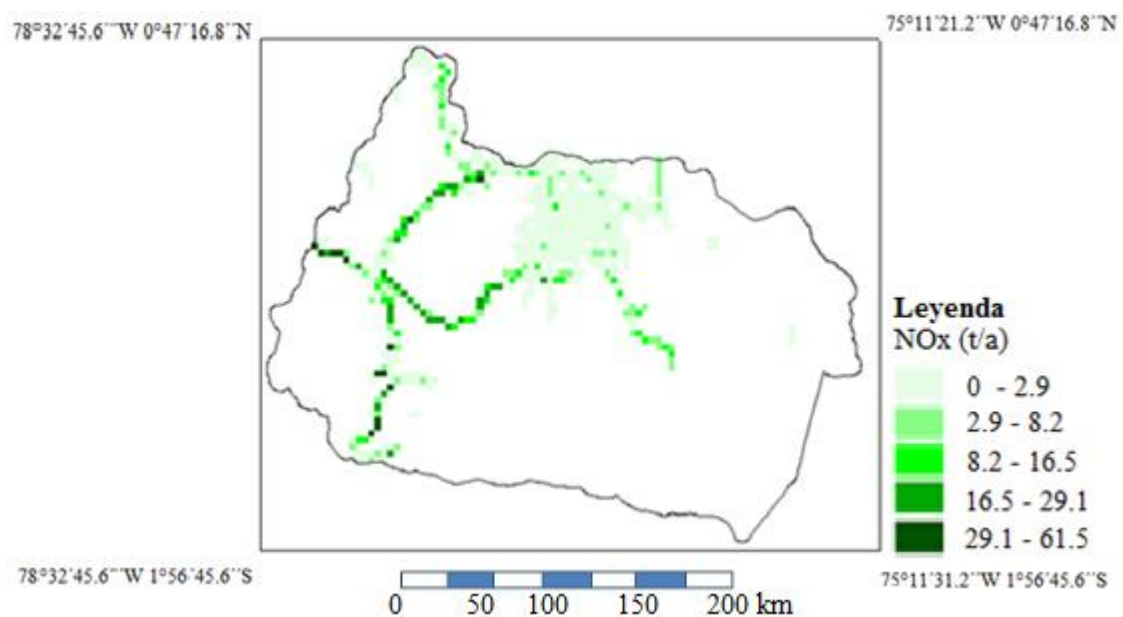


Figura 28: Emisiones de NO_x provenientes del tráfico vehicular para la zona de estudio.

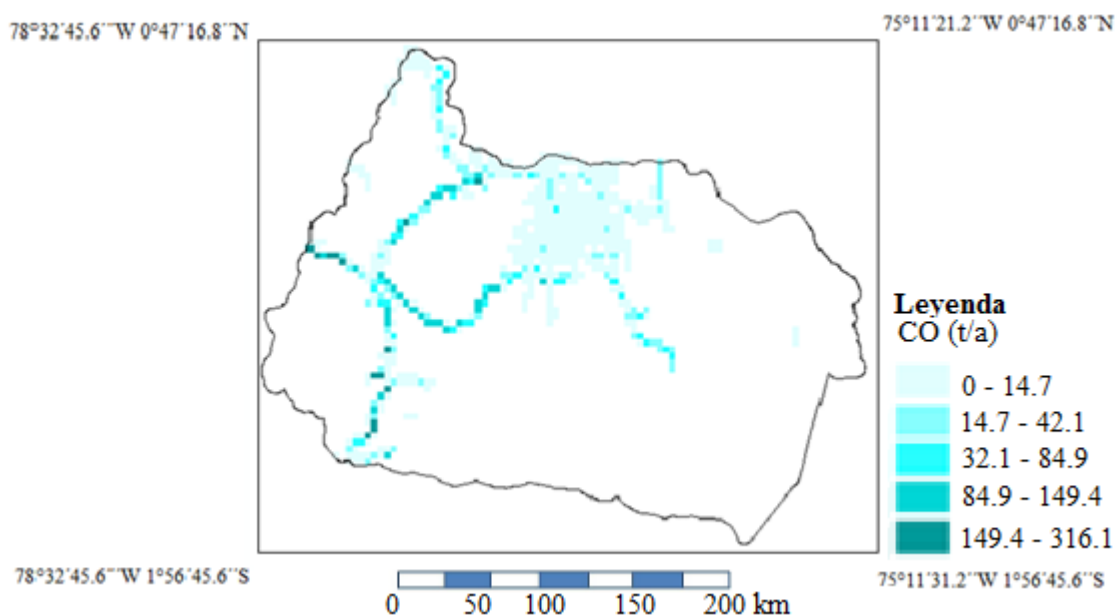


Figura 29: Emisiones de CO provenientes del tráfico vehicular para la zona de estudio.

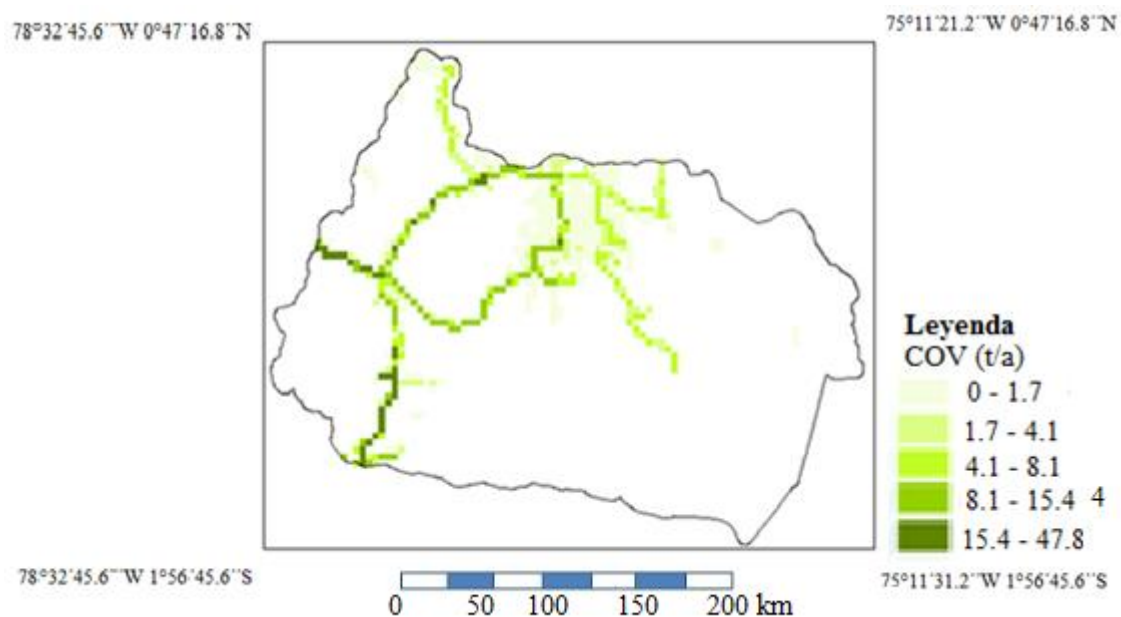


Figura 30: Emisiones de COV provenientes del tráfico vehicular para la zona de estudio.

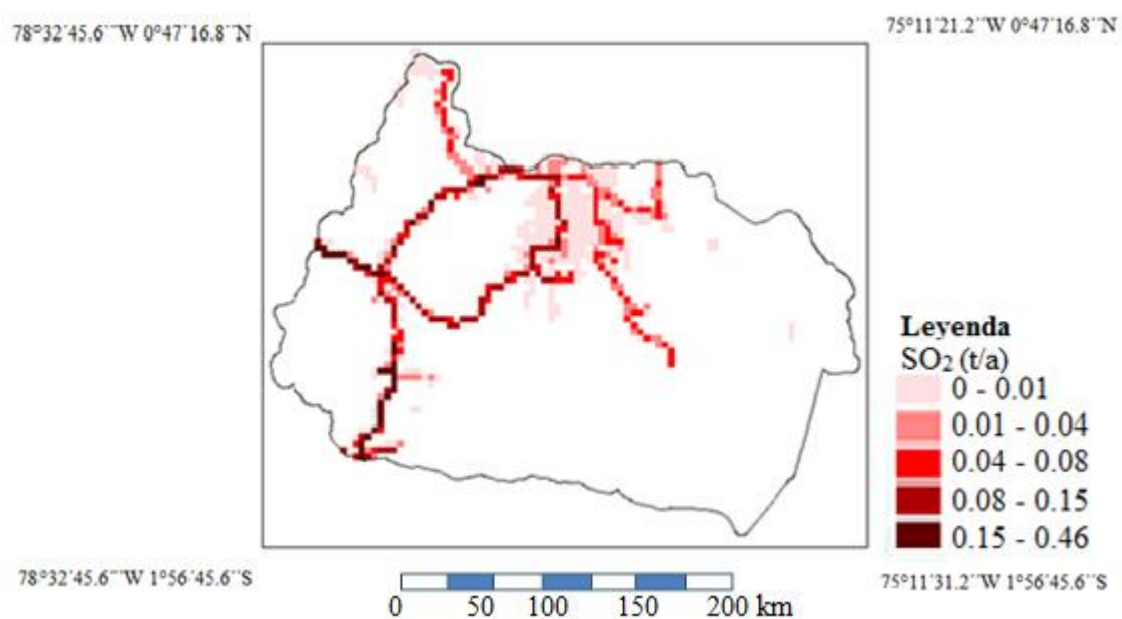


Figura 31: Emisiones de SO₂ provenientes del tráfico vehicular para la zona de estudio.

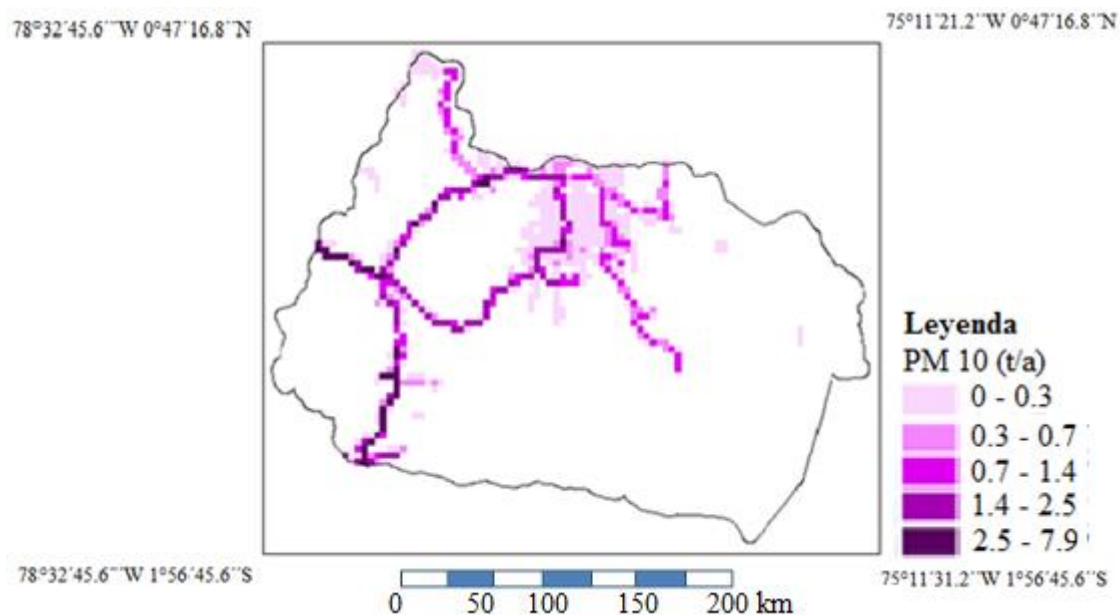


Figura 32: Emisiones de PM_{10} provenientes del tráfico vehicular para la zona de estudio.

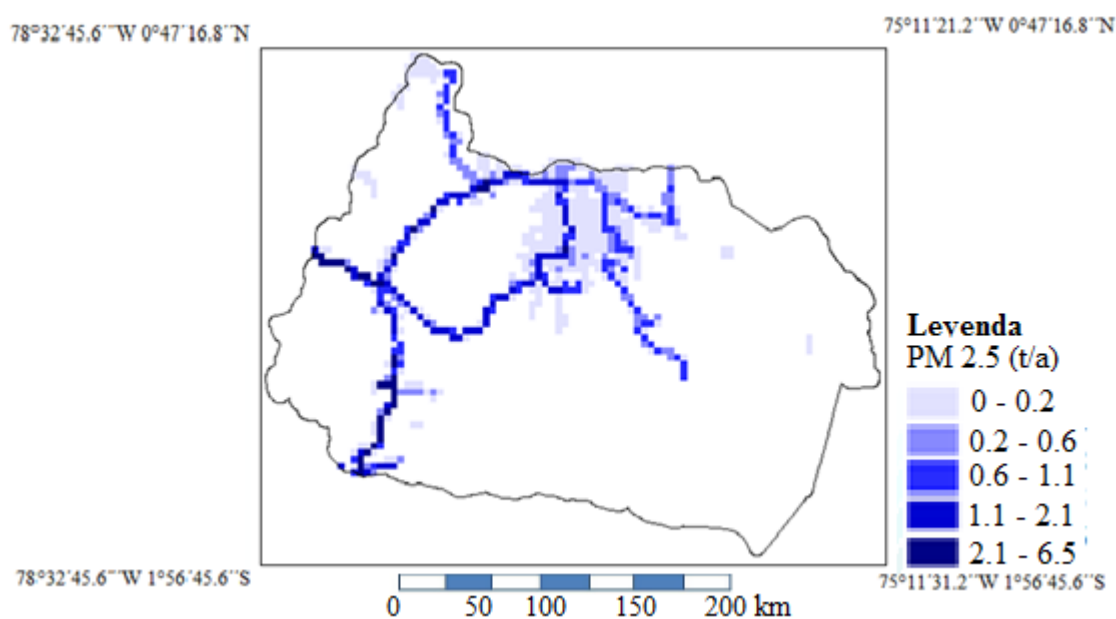


Figura 33: Emisiones de $PM_{2.5}$ provenientes del tráfico vehicular para la zona de estudio.

5.2.2 Análisis y discusión acerca del tráfico vehicular

Las emisiones de contaminantes se muestran en la Tabla 10, las cuales se concentran en los ejes viales. Las zonas urbanas tienen una concentración menor de contaminantes en comparación a los ejes viales, debido a un importante número de vías secundarias con tráfico bajo.

Tabla 10: Emisiones de contaminantes o GEI provenientes del tráfico vehicular.

Contaminante	Gasolina (t/año)	(%)	Diésel (t/año)	(%)	Total (t/año)	(%)
NO _x	735.26	14.53	4324.54	85.47	5059.80	100.00
CO	16 037.57	61.62	9988.21	38.38	26 025.78	100.00
PM _{2.5}	9.78	2.74	346.85	97.26	356.63	100.00
COV	1534.27	58.88	1071.45	41.12	2605.72	100.00
PM ₁₀	17.44	4.05	413.35	95.95	430.79	100.00
SO ₂	114.23	60.01	76.13	39.99	190.36	100.00
CO ₂	253 531.26	43.19	333 519.89	56.81	587 051.15	100.00

Las emisiones de NO_x ascienden a 5060 t/año. Esta cantidad guarda relación con las emisiones de NO_x representadas por el cantón Cuenca en el año 2009, donde las emisiones son 6% mayores.

Las emisiones de NO_x de vehículos a diésel representan el 85.47%. Las categorías de mayor aportación a las emisiones de NO_x son las de “pesados” (61.48% de aportación), y la categoría “Buses” (21.22%). La alta participación de estas categorías se debe a las emisiones de NO_x termal, provocadas por las altas temperaturas y presiones en las cámaras de combustión de los motores de mayor tamaño (EPA, 2005).

La categoría de mayor aportación entre los vehículos a gasolina es “camionetas y furgonetas” (5.17% de aportación). Es importante recalcar que el 51.15% de los vehículos a gasolina corresponden a la categoría “motocicletas”, la cual consume el 41.8% de la gasolina en la zona de estudio. Debido a las bajas presiones y temperaturas en las cámaras de combustión de las motocicletas, las emisiones de NO_x producidas son mínimas (Crouse et al., 1992). Por lo tanto, las emisiones de vehículos a gasolina son bajas.

Las emisiones de CO ascienden a 26 026 t/año, es decir que son 3.9 veces menores que las reportadas para la ciudad de Cuenca en el año 2009. Esto se atribuye principalmente que en la zona de estudio, la fracción de gasolina en el volumen total consumido es menor que para la ciudad de Cuenca, y estudios realizados en Colombia muestran que la gasolina emite entre 15 y 20 veces más que el diésel a velocidades mayores a 30 km/h y hasta 90 veces más a velocidades inferiores (Arango, 2009). Adicionalmente, estudios realizados con combustibles ecuatorianos muestran que la gasolina emite entre un 40% y un 92% más CO que el diésel, dependiendo de la calidad de los dos combustibles (Arellano, 2013).

Las emisiones de CO provienen en un 61.62% de vehículos a gasolina. Las categorías de mayor aportación dentro de estos vehículos son la categoría “motocicletas” (40.21% de aportación), seguido por la categoría “camionetas y furgonetas” (8.61%). Para los vehículos a diésel, las categorías que de mayor aporte es la de “pesados” (32.57%) y la categoría “buses” (4.65%).

Las emisiones de COVs ascienden a 2606 t/año, lo que representa el 49.19% de las emisiones del cantón Cuenca para el año 2009. Inicialmente, debe considerarse que la gasolina es más volátil que el diésel, por lo tanto las emisiones por parte de vehículos a gasolina serán mayores. Adicionalmente, estudios realizados con modelos de emisiones de fuentes móviles indican que las principales fuentes de COVs son las motocicletas y los automóviles, mientras que las emisiones de los vehículos a diésel de gran tamaño, como lo son los autobuses y los vehículos pesados, son considerablemente menores (Restrepo et al., 2007).

En la zona de estudio, el 58.88% de las emisiones de COVs provienen de vehículos a gasolina. Las mayores aportaciones provienen de las “motocicletas” (35.49%), “camionetas y furgonetas” (9.19%) y “automóviles” (5.55%).

Las emisiones de SO₂ para la zona de estudio son de 190 t/año, de las cuales el 60.01% proviene de vehículos a diésel. Las categorías con mayor participación en las emisiones de SO₂ son las de “pesados” (44.06% de las emisiones), seguido por la categoría “buses” (6.66%). Las categorías de mayor aportación en los vehículos a gasolina son la categoría “motocicletas” (16.34%), y la categoría “camionetas y furgonetas” (11.33%).

Las emisiones de PM₁₀ son de 431 t/año, de las cuales 357 corresponden a PM_{2.5}. Tanto el porcentaje de PM_{2.5} en relación al PM₁₀ (82.79%), como el total de emisiones de PM, se encuentran en concordancia con el inventario de emisiones de la ciudad de Cuenca para el año 2009.

Los vehículos a diésel emiten entre 10 y 100 veces PM que los vehículos a gasolina (ISUZU, 2014), por lo el 95.95% de las emisiones de PM₁₀ provienen de vehículos a diésel. Las categorías cuya participación es mayor son: “pesados” (78.34% de las emisiones) y la categoría “buses” (12.05%).

Las emisiones más altas son las de CO₂ con un total de 587 051 t/año, las cuales dependen directamente del consumo de combustible. Para la zona de estudio, el 56.81% de las emisiones de CO₂ provienen de vehículos a diésel, siendo las categorías que más aportan “pesados” (41.72% de las emisiones), y “camionetas y furgonetas” (8.36%) Para los vehículos a gasolina, las fuentes principales son “motocicletas” (19.52%) y “camionetas y furgonetas” (11.13%).

5.2.3 Resultados de generadoras eléctricas

Las emisiones de las plantas de generación eléctrica para los contaminantes analizados se muestran en el Anexo C.

Las emisiones fueron repartidas en función de la ubicación de las generadoras eléctricas de la cual provienen. En las Figura 34 a continuación se indica la distribución de las emisiones de NO_x.

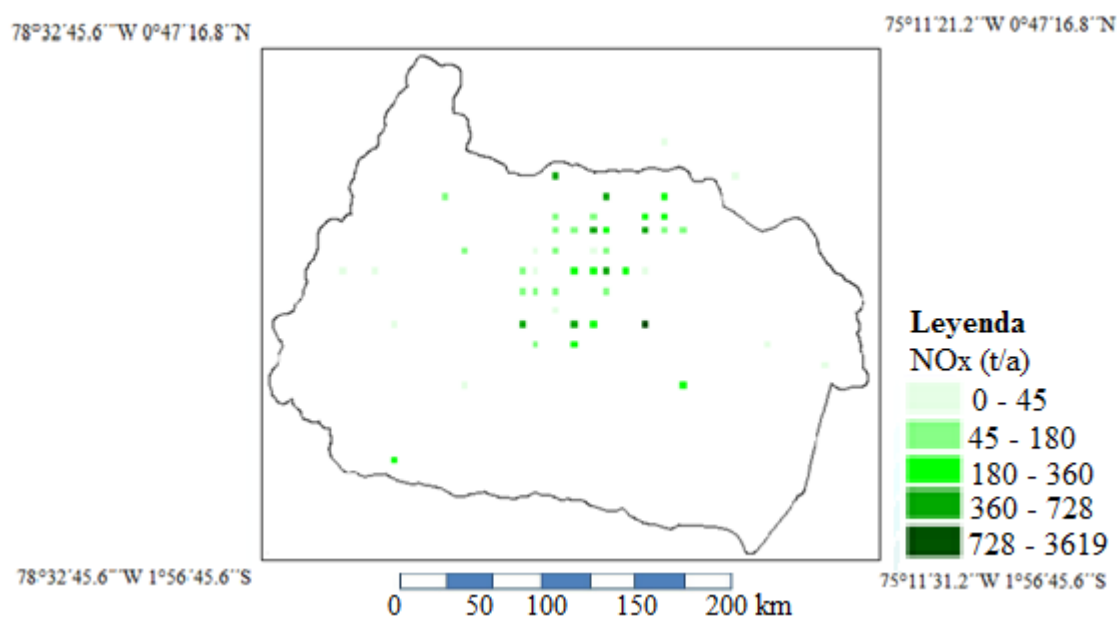


Figura 34: Emisiones de NO_x provenientes de generadoras eléctricas para la zona de estudio.

5.2.4 Análisis y discusión acerca de las emisiones de generadoras eléctricas

Una manera de poder comparar las emisiones de las plantas de generación eléctrica es comparando los volúmenes de combustible consumidos (ver Tabla 11).

Tabla 11: Consumo de combustibles y Emisiones de contaminantes provenientes de generadoras eléctricas para el año 2012 en la zona de estudio (CONELEC, 2012).

Zona de estudio								
Combustible	Volumen (mil gal)	NO _x	CO	COV	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO ₂
Diésel	65 406.54	1203.43	3196.38	1316.16	24.13	186.52	77.32	654 142.80
Residuo	10 026.08	162.72	2.17	224.49	1109.28	53.40	38.93	117 542.85
Crudo	42 395.20	688.06	9.18	949.27	4690.57	252.17	48.98	497 029.01
Gas natural	15 052.64	95.96	42.42	51.36	0.30	3.84	3.84	69 711.88
GLP	6295.76	61.75	19.57	0.18	0.00	1.66	1.66	36 410.01
Total	139 176.22	13 041.92	3269.72	2541.47	5824.29	497.59	170.73	1 374 836.55

Las emisiones de NO_x ascienden a 13 042 t/año. Este valor fue comparado con un estudio realizado en Argentina por la Comisión Nacional de Energía Atómica, en el cual se midieron las emisiones de NO_x para varias generadoras eléctricas instaladas entre 1970 y 1996 (Bajano et al., 1998). La comparación indicó que las emisiones de NO_x son congruentes con el poder calorífico de los combustibles.

Las emisiones de NO_x provienen principalmente de la combustión de diésel (92.27% de las emisiones), debido a características propias de los MCI de gran tamaño, en cuya cámara de combustión se dan altas temperaturas y presiones, formando NO_x termal.

Las emisiones de CO ascienden a 3270 t/año. Comparando las emisiones de CO con la generadoras eléctricas de Genesee, ubicada en Edmonton, Canadá, (Potencia instalada de 800 MW, 10% de la potencia instalada en la zona de estudio), se encuentra una diferencia del 4% (Canada Environment, 2012). El valor es similar debido a que en Genesee se utiliza carbón mineral, que es un combustible que también tiene un alto factor de emisión (IPCC, 2006).

El combustible que con mayores emisiones de CO es el diésel que aporta el 97.76%, debido a características específicas de los motores de diésel que hacen que las emisiones de CO sean altas (EPA, 1996). Las emisiones del gas natural y del GLP fueron menores, debido a que se requiere poco oxígeno y energía para que la reacción de combustión se complete debidamente. Tanto el crudo reducido como el residuo de petróleo deben ser recalentados antes de ingresar a la cámara de combustión, por lo tanto la combustión se completa en gran medida.

Las emisiones de COVs ascienden a 2541 t/año. Si se suman las emisiones COVs de los combustibles diésel, crudo reducido y residuo de petróleo se obtiene un aporte del 97.97%, aportación que se debe a que, en general, las emisiones de COVs en las centrales eléctricas provienen de la combustión incompleta de los combustibles fósiles (Universidad de Castilla - La Mancha, 2009), y dado que debido a falta de datos solo se estaría tomando en cuenta el diésel (entre 5 y 10 carbonos) y el gas natural y GLP (entre 1 y 4 carbonos), es lógico que un combustible con cadenas de carbono más largas tenga emisiones de COVs mayores.

Las emisiones de SO₂ ascienden a 6070 t/año. Este valor fue comparado con las emisiones correspondientes a la generación de energía eléctrica de la ciudad de Cuenca en el año 2009 (CONELEC, 2009), las cuales representan el 8.25% del SO₂ emitido en la zona de estudio, con un consumo de combustible del 8.18% del residuo de petróleo y del 0.1% del diésel. Esta diferencia se debe al volumen de residuo de petróleo utilizado en centrales eléctricas, el cual representa el 30.46% del combustible utilizado en la zona de estudio, mientras que en la ciudad de Cuenca representa el 98.45%.

Para la zona de estudio, el combustible de mayor aporte a las emisiones de SO₂ es el crudo reducido (80.53% de las emisiones), seguido por el residuo de petróleo (19.05% de las emisiones), debido al alto porcentaje de azufre en estos combustibles (EPA, 1996).

Las emisiones de PM₁₀ para la zona de estudio fueron de 498 t/año, de las cuales 171 son de PM_{2.5}. Las emisiones de PM₁₀ se ven principalmente aportadas por el crudo reducido (50.68% de las emisiones), seguido por el diésel (37.58%) y finalmente por el residuo de petróleo (10.73%), debido al contenido de azufre de los combustibles, que posteriormente se transforman en sulfato, el cual es un núcleo de carbón particulado (Arellano, 2013).

Las emisiones más altas son las de CO₂, con un total de 1 374 837 t/año. Si bien las contribuciones de los diferentes combustibles son proporcionales a las emisiones de CO₂, las emisiones del crudo reducido y del residuo de petróleo, que tienen cadenas más largas (entre 14 y 18 carbonos), muestran una participación mayor en las emisiones, mientras que el GLP y el gas natural (cadenas de 1 a 4 carbonos), muestran una participación menor.

5.2.5 Resultados de gasolineras

Las emisiones de las gasolineras para COVs se muestran en el anexo B. Las mismas fueron localizadas en función de la ubicación de las gasolineras (Figura 35).

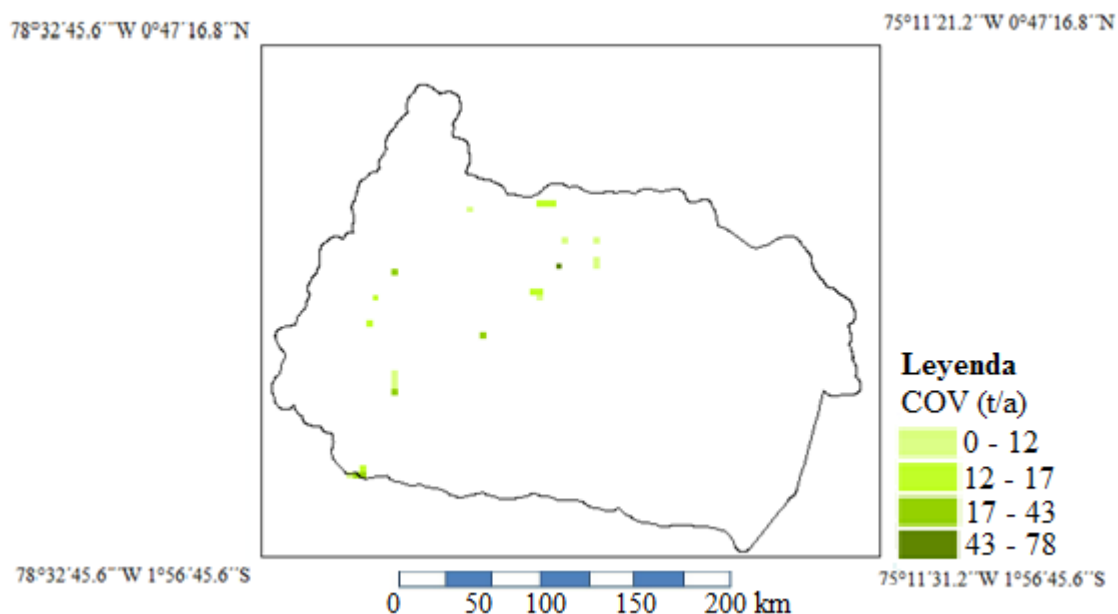


Figura 35: Emisiones evaporativas de COV provenientes de gasolineras en la zona de estudio.

Las de COVs para la zona de estudio ascienden a 546.02 t/año, las cuales se atribuyen a 42 gasolineras. Las emisiones de la zona de estudio representan el 57.5% de las emisiones de gasolineras de la ciudad de Cuenca en el año 2009, diferencia que se debe a que en esta última se utiliza un porcentaje de gasolina mayor, la cual es más volátil.

5.2.6 Resultados de la refinería

Las emisiones provenientes de la refinería Amazonas y Planta de Gas se indican en la Tabla 12.

Tabla 12: Emisiones de la refinería Amazonas y Planta de Gas.

Contaminante o GEI	Refinería	Planta de Gas
	t/año	
NO _x	30.8	
CO	3.7	
COV	219.7	
SO ₂	202.2	24.1
PM ₁₀	3.7	
PM _{2.5}	2.2	
CO ₂	18 052.1	

Las emisiones provenientes de una refinería dependen en alto grado de la composición de la misma, del combustible utilizado y de las diversas tecnologías en los procesos (EPA, 1995), por lo que resulta difícil comparar las emisiones entre refinerías. Adicionalmente, las refinerías europeas o canadienses deben cumplir con normativas estrictas acerca de contaminación del aire, por lo que se ven forzadas a implementar tecnologías más eficientes y amigables con el ambiente. En consecuencia, resulta difícil comparar las emisiones con la refinería Amazonas, ya que la misma no se ha visto en necesidad de implementar tecnologías a fin de disminuir sus emisiones.

La refinería peruana de Iquitos sin embargo, tiene una capacidad de refinación similar, utiliza petróleo residual como combustible y tampoco se ha visto en necesidad de implantar tecnologías para control de emisiones (DIGESLA, 2005), por lo tanto la comparación con la refinería Amazonas puede realizarse.

Tabla 13: Comparación emisiones de contaminantes primarios del aire de la Refinería Amazonas y Planta de Gas con refinería de Iquitos.

Refinería	Capacidad (Bls/d)	Emisiones (t/año)					
		NO _x	CO	COV	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
Refinería Amazonas y Planta de Gas	19 000	31	4	220	226.1	3.7	2.2
Refinería Iquitos (DIGESLA, 2005)	12 000	21.83	5.98	364.5	457.4	0.53	-

Teniendo en cuenta la diferencia en la capacidad de refinación de las dos refinerías, se observa que las emisiones son similares. Una de las razones por las cuales las emisiones de NO_x de las dos refinerías son similares, es que las dos refinerías utilizan petróleo residual como combustible, ya que estudios de correlación entre los diferentes factores que influyen en las emisiones de NO_x en refinerías muestran que el factor principal es el tipo de combustible utilizado, ya que la mayoría de las emisiones provienen de quemadores y calderos (Levelton, 2003).

Las emisiones de CO de la refinería Amazonas son menores al ser comparadas con la refinería de Iquitos. Sin embargo, se puede ver que las emisiones de CO son bajas, sobre todo si se las compara con refinerías más complejas y con mayor capacidad de refinación, como lo son las refinerías de Canadá y Estados Unidos (Canada Environment, 2009).

Las emisiones de COVs de la Refinería Amazonas fueron aportadas tanto por las emisiones provenientes de quema de combustible como por las emisiones evaporativas del crudo almacenado (99.54% emisiones evaporativas y 0.46% quema de combustible). En el caso de la refinería de Iquitos, las emisiones de COVs también son altas. Esto se debe principalmente a que ninguna de las dos refinerías ha implantado tecnologías para control de emisiones atmosféricas.

Las emisiones de SO_2 provienen tanto de la refinería Amazonas como de la Planta de Gas. Se puede observar que las emisiones de SO_2 son altas para las dos refinerías, lo que se debe al uso de petróleo residual como combustible.

Las emisiones de CO_2 se compararon con las emisiones de las refinerías del Complejo Industrial La Coruña y con la Castellón en España (CMATI, 2013), y con la refinería de Provence, en Francia (Developpement Durable, 2011) (ver Tabla 14).

Tabla 14: Comparación emisiones de CO_2 de la Refinería Amazonas y Planta de Gas con refinerías europeas.

Refinería	Capacidad (Bls/d)	CO_2 (kt/año)
Refinería Amazonas y Planta de Gas	19 000	18 052
Complejo Industrial La Coruña	120 000	1030
Refinería de Provence	155 000	1260
Refinería de Castellón	100 000	1060

Las altas emisiones de CO₂ de la refinería Amazonas en comparación con las refinerías europeas se debe a que las mismas son directamente proporcionales a la cantidad de combustible utilizado, y debido a que las refinerías europeas tienen una gran cantidad de procesos que consumen energía, la capacidad productiva deja de ser proporcional al combustible utilizado por la refinería. Debido a la complejidad de los procesos en refinerías europeas, para producir cada barril se necesita, en comparación, una mayor cantidad de combustible.

5.2.7 *Análisis y Discusión acerca de las emisiones totales*

Las emisiones totales para la zona de estudio se muestran a continuación (Tabla 15). Adicionalmente, dichas emisiones fueron ilustradas en mapas (ver Figuras 36 a 41).

Tabla 15: Emisiones totales de contaminantes primarios del aire, y CO₂, para la zona de estudio.

Fuente	Emisiones (t/año)													
	NOx	(%)	CO	(%)	COVs	(%)	SO ₂	(%)	PM ₁₀	(%)	PM _{2.5}	(%)	CO ₂	(%)
Refinería	31	0.2	4	0.01	220	3.9	226	3.6	4	0.4	2	0.4	18 052	0.9
Generadoras eléctricas	13 042	71.9	3270	11.16	2541	45.0	5824	93.3	498	53.4	171	32.3	1 374 837	69.4
Gasolineras					276	4.9								
Tráfico	5060	27.9	26 026	88.83	2606	46.2	190	3.1	431	46.2	357	67.3	587 051	29.7
Total	18 133	100	29 300	100	5643	100	6240	100	933	100	530	100	1 979 940	100

Las emisiones de NO_x las generadoras eléctricas son significativamente mayores debido a las temperaturas y presiones altas que generan NO_x termal. El tráfico vehicular tuvo emisiones menores debido a que los vehículos no se encuentran funcionando constantemente y por lo tanto no mantienen temperaturas altas con tanta regularidad, generando menos NO_x. Finalmente, la refinería aporta un 0.17% de las emisiones, las cuales se deben a los quemadores y calderos.

El alto porcentaje de las emisiones de CO del tráfico vehicular se debe principalmente al tipo de motor que poseen los vehículos, el cual al tener una relación aire – combustible pobre, producen grandes cantidades de CO. Adicionalmente, gran parte de estas emisiones se deben a la baja temperatura de los motores cuando comienzan su funcionamiento (EMOV EP, 2011), lo cual representa un problema para los motores de vehículos pero no

para generadoras eléctricas y refinerías, ya que las últimas trabajan de manera continua. Las generadoras eléctricas deben su aporte a que el tipo de combustible consumido tiene un alto contenido de azufre. Las emisiones de la refinería son significativamente inferiores debido al bajo consumo de combustible.

Las emisiones de COVs del tráfico provienen de la combustión incompleta en los motores. La segunda fuente de mayor aportación a las emisiones de COV son las generadoras eléctricas, que se deben principalmente a la combustión incompleta. Para la refinería, el 99.54% de las emisiones son de tipo evaporativas, las cuales son menores que las emisiones de las gasolineras debido a que el crudo almacenado es menos volátil que la gasolina y el diésel.

Las emisiones de SO₂ provenientes de generadoras eléctricas se deben principalmente al tipo de combustibles con alto contenido de azufre utilizados. De igual manera, las emisiones de la refinería son 19% mayores que las del tráfico vehicular, con un consumo del 2.8% del combustible, diferencia que se debe nuevamente al tipo de combustible.

Las emisiones de PM se ven aportadas de gran manera por los motores a diésel, ya que los mismos tienen emisiones de 10 a 100 veces mayores. Adicionalmente, los combustibles con alto contenido de azufre generan de un 50 a un 66% más de emisiones de PM debido a la formación de núcleos de carbono (Arellano, 2013). En consecuencia, debido al uso tanto de diésel como de crudo reducido y residuo de petróleo, las generadoras eléctricas presentan emisiones de PM muy altas. Las emisiones de la refinería son bajas debido a que el volumen de combustible utilizado es mucho menor. Finalmente, las emisiones de CO₂ son proporcionales a la cantidad y al tipo de combustible utilizado en cada fuente.

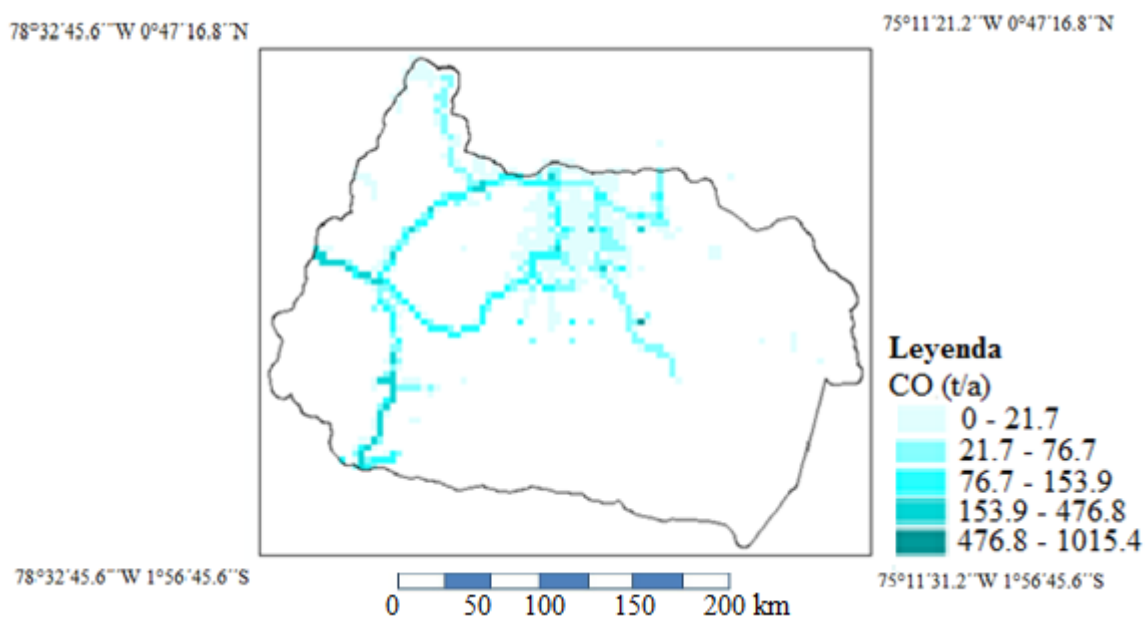


Figura 36: Emisiones totales de CO en zona de estudio.

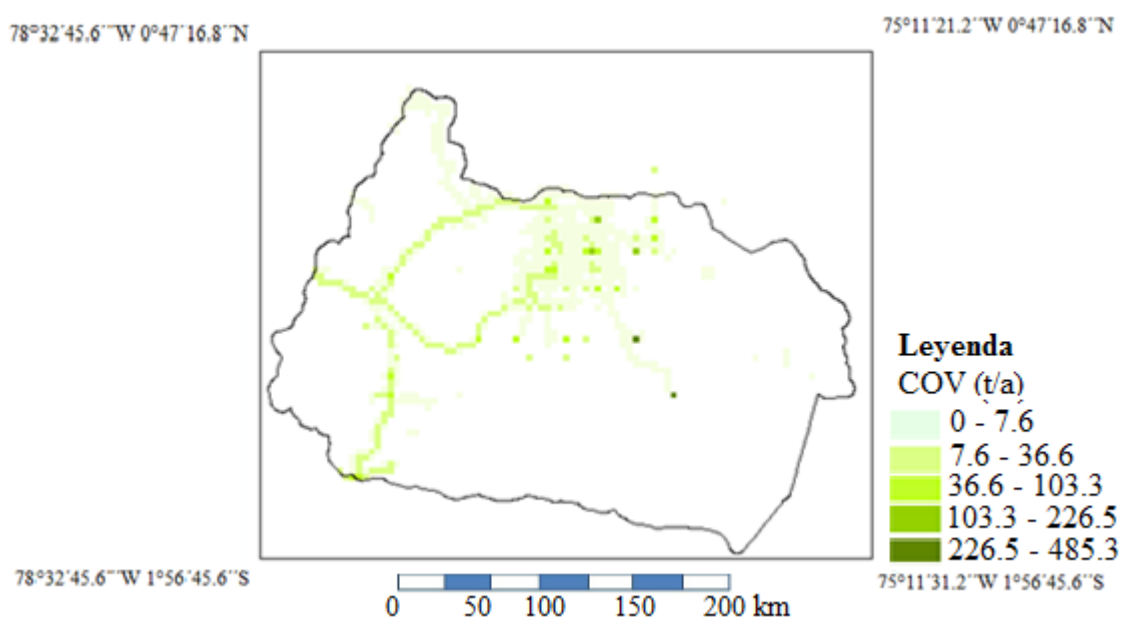


Figura 37: Emisiones totales de COV en zona de estudio.

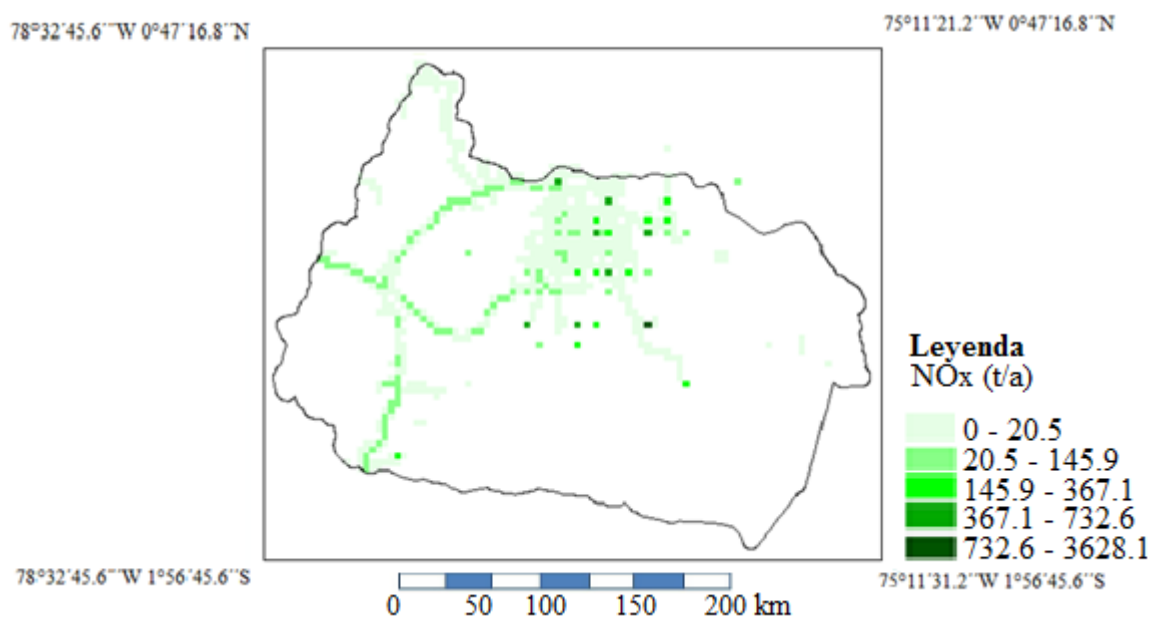


Figura 38: Emisiones totales de NO_x en zona de estudio.

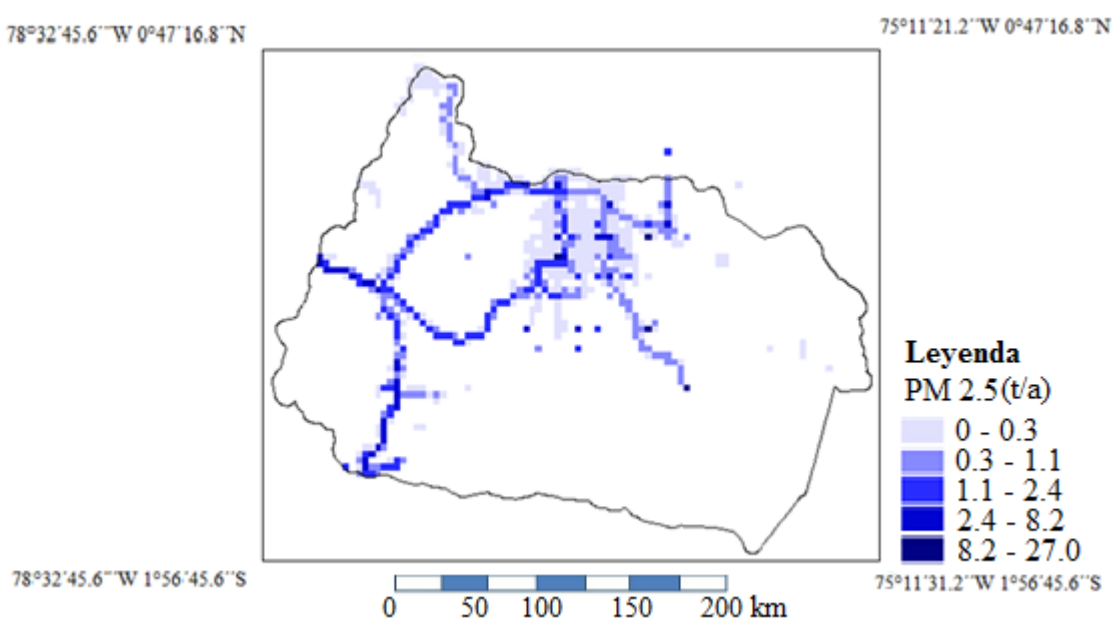


Figura 39: Emisiones totales de $\text{PM}_{2.5}$ en la zona de estudio.

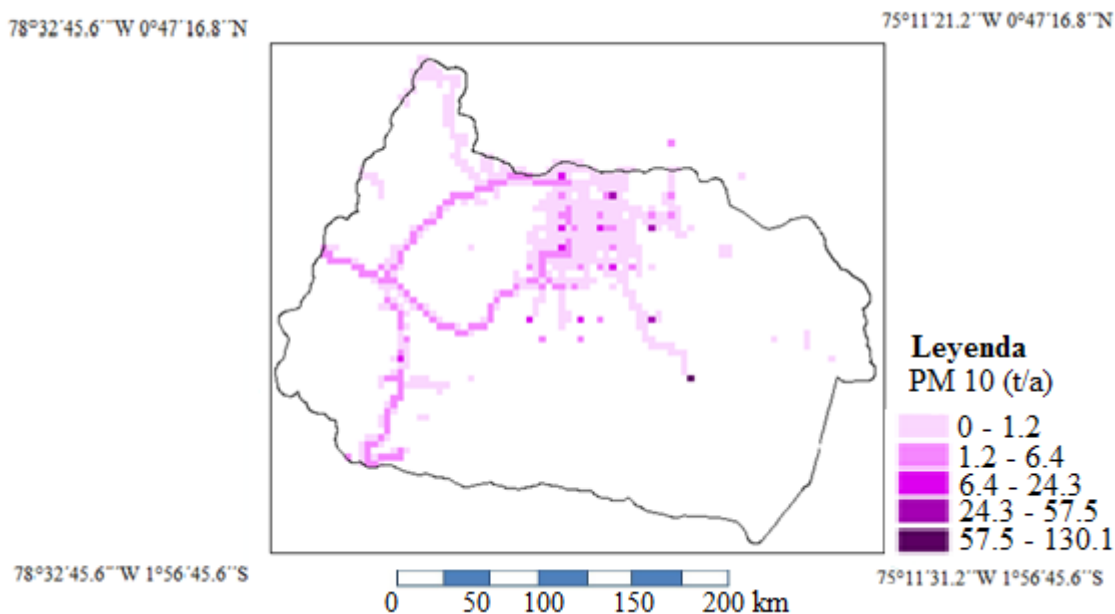


Figura 40: Emisiones totales de PM₁₀ en la zona de estudio.

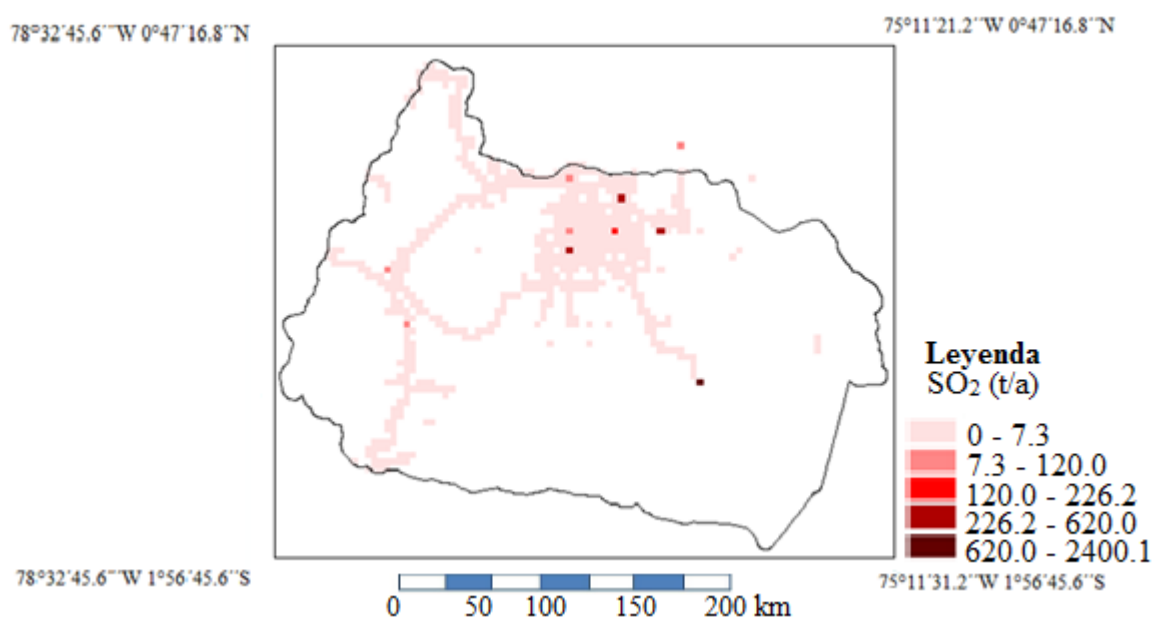


Figura 41: Emisiones totales de SO₂ en la zona de estudio.

Al comparar las emisiones per cápita de la zona de estudio (ver Tabla 16), se observa que las emisiones de NO_x y CO₂ son altas en comparación a otros cantones o jurisdicciones, debido a las emisiones de las generadoras eléctricas en la zona de estudio, y a la población relativamente baja que habita en la misma. De igual manera, las emisiones de CO muestran valores altos, lo que se debe principalmente a la baja población que habita en la zona.

Tabla 16: Valores de emisión per cápita por cantones o jurisdicción (MAE, 2013)

Cantón o jurisdicción	kg hab ⁻¹ año ⁻¹						t hab ⁻¹ año ⁻¹
	NO _x	CO	COV	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO ₂
Esmeraldas	20.7	44.9	26.2	72.8	2.6	1.8	5.91
Ibarra	15.8	54.4	14.9	1.4	10.4	3.0	1.5
Santo Domingo	14.8	51.4	23.9	1.6	1.2	1.0	1.39
Manta	13.2	49.9	18.3	2.1	0.7	0.5	1.75
Portoviejo	8.6	43.9	14.3	0.9	0.6	0.5	1.03
Milagro	8.6	45.7	13.0	1.5	15.1	8.8	1.34
Riobamba	16.7	52.1	15.5	6.4	2.0	1.0	2.96
Ambato	12.0	50.6	17.8	1.2	1.4	0.7	1.36
Latacunga	16.0	54.2	21.4	3.4	1.6	1.1	1.97
Cuenca ¹	15.7	80.6	33.3	3.5	2.7	1.9	2.28
Distrito Metropolitano de Quito ²	16.6	40.4	17.5	4.9	1.6	0.7	1.68
Cuenca hidrográfica del río Napo	41.6	67.2	12.9	14.3	2.1	1.2	4.54

5.3 Análisis de incertidumbre del inventario de emisiones

La elaboración del inventario de emisiones de fuentes antropogénicas para la zona de estudio es una tarea compleja y que tiene una gran incertidumbre asociada, especialmente debido a la falta de información.

Se hizo un análisis semicuantitativo de manera de evaluar la calidad de los componentes de cada uno de los análisis realizados en este estudio. Este análisis se hizo siguiendo la metodología usada en los inventarios de emisiones de los años 2003 (CORPAIRE, 2006), 2005 (CORPAIRE, 2008) y 2007 (CORPAIRE, 2009) de la ciudad de Quito, el inventario de emisiones del año 2009 (EMOV EP, 2011) para la ciudad de Cuenca, la estimación de emisiones de material particulado por resuspensión eólica para el Ecuador durante el año 2010 (Sánchez, 2013) y la estimación de emisiones de COVs de la vegetación del Ecuador durante el año 2010 (Viteri, 2012).

El método que se utiliza está recomendado por la US EPA para la evaluación de incertidumbre según el Data Attribute Rating System y está basado en una calificación tanto alfabética como colorimétrica (EPA, 1996). El mismo evalúa la incertidumbre asociada al factor de emisión utilizado y a la tasa de actividad, los dos componentes necesarios para calcular las emisiones (ver Ecuación 1). Una vez evaluados todos los

aspectos del estudio mediante este método, se obtiene una calificación global para el estudio.

Los pasos a seguir en la evaluación son dos: inicialmente se debe valorar la calidad y confiabilidad de los datos, y posteriormente, se evalúa el factor de emisión en sí. Los datos de la tasa de actividad se basan en el origen de los mismos. Se toma en cuenta tanto si los datos han sido medidos o extrapolados de la literatura, como la exactitud con la cual se han hecho dichos procedimientos. En términos generales, datos que han sido medidos con exactitud y que han sido contrastados con información pertinente tendrán una calificación de A. Por otro lado, datos que han sido extrapolados de la literatura y que no corresponden precisamente a la zona de estudio se califican con la letra E. Cada una de las actividades obtendrá una calificación que se encuentran entre estas dos letras, tal como se muestra en la matriz a continuación.

Tabla 17: Matriz de calificación de incertidumbre para emisiones.

Actividad	Factor de Emisión				
	A	B	C	D	E
A	A	A	B	C	C
B	A	B	B	C	D
C	B	B	C	C	D
D	C	C	C	D	D
E	C	D	D	D	E

Las calificaciones globales serán:

- Categoría A: Calidad muy alta. El detalle de la información es suficiente para considerar a la estimación bastante fiable.
- Categoría B: Calidad alta. Aunque la estimación puede considerarse fiable, podrían tomarse acciones para disminuir la incertidumbre.
- Categoría C: Calidad media. La estimación se considera medianamente fiable y se podría mejorar, en función del nivel de las emisiones del sector que se está calificando y su peso en relación al valor total de la estimación.

- Categoría D: Calidad baja. La estimación se considera poco fiable y se recomienda mejorarla, en función del nivel de las emisiones del sector que se está calificando y su peso en relación a la estimación total.
- Categoría E: Calidad muy baja. La estimación se considera muy poco fiable y se recomienda mejorarla, en función del nivel de las emisiones del sector que está siendo calificado y su peso en relación a la estimación total. La estimación no ha sido corroborada con mediciones.

A continuación se muestra la calificación para cada parte del estudio, así como el criterio que sustenta la calificación obtenida, en función de actividad y el factor de emisión.

Tabla 18: Valoración cualitativa de incertidumbre asociada a atributos del inventario de emisiones de la cuenca hidrográfica del río Napo para el año 2012.

Fuente	Actividad	Factor de emisión	Estimación
Tráfico vehicular	D	D	D
Gasolineras	D	D	D
Generadoras eléctricas	A	D	C
Refinería	C	D	C

La actividad del tráfico vehicular se calculó en base a las ventas de combustible de la zona de estudio, la cual estuvo desglosada a nivel de cantón y no de estación de servicio, por lo tanto la calificación es de D. Para el factor de emisión, debieron asumirse datos para los vehículos de la categoría “otra clase” y la ITM de las vías secundarias. Adicionalmente, los datos del INEC utilizados para calcular la participación porcentual del parque vehicular, no toman en cuenta los vehículos no matriculados. Por consiguiente, el factor de emisión se valora con la letra D. En consecuencia, las emisiones del el tráfico vehicular se valoran con la letra D.

La actividad de las gasolineras fue proporcionada por la ARCH, la cual presentó datos desglosados a nivel de cantón y no de gasolinera. Por lo tanto, la actividad de las gasolineras se valora con la letra D. El factor de emisión fue obtenido de literatura, y la misma no coincide necesariamente con los factores de emisión ecuatorianos. Por lo tanto, el factor de emisión se valora con la letra D. En consecuencia, las emisiones de gasolineras fueron valoradas con la letra D.

La actividad de las generadoras eléctricas fue obtenida de los boletines del CONELEC (CONELEC, 2012), los cuales muestran información muy detallada. Por lo tanto, dicha actividad se valora con la letra A. Los factores de emisión en cambio, fueron obtenidos de la literatura, y se valoran con la letra D. En consecuencia, se valora a las emisiones de las generadoras eléctricas con la letra C.

Por último, la actividad de la refinería fue proporcionada por personal de EP Petroecuador y es relativamente detallada. Sin embargo, no se tienen datos acerca de la composición de la refinería. Por lo tanto, la actividad fue valorada con la letra C. Los factores de emisión fueron obtenidos de la literatura, por lo tanto se valoran con la letra D. En consecuencia, se valora a las emisiones de la refinería con la letra C.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La temperatura media generada con simulación numérica es congruente con los registros disponibles en las estaciones del INAMHI. La radiación solar y los vientos obtenidos por simulación son congruentes con el comportamiento teórico esperado. Se puede considerar entonces, que los parámetros generados pueden ser utilizados para diversos modelamientos, como por ejemplo el de nichos ecológicos.

Es importante recalcar que el inventario de emisiones para la cuenca hidrográfica del río Napo puede ser utilizado para ejercicios de simulación, para la elaboración de modelos de transporte químico y como documento referencial para la toma de decisiones con respecto a la gestión de la calidad del aire para la zona de estudio.

Las fuentes de contaminantes primarios del aire más importantes en la cuenca hidrográfica del río Napo son las generadoras eléctricas, para los contaminantes NO_x (71.92% de las emisiones), SO_2 (93.33% de las emisiones) y PM_{10} (53.38% de las emisiones). Adicionalmente, aportan el 67.69% del CO_2 . En segundo lugar se encuentra el tráfico vehicular, el cual aporta, el 88.83% del CO , y el 46.18% de los COVs para la zona de estudio. Tanto la refinería Amazonas y Planta de Gas como las gasolineras tiene aportaciones menores, por lo tanto las zonas que muestran mayores emisiones corresponden a los ejes de vías y emplazamiento de las generadoras eléctricas. Cabe recalcar que en la zona poblada las emisiones son menores, debido al tráfico interno en las vías secundarias con bajo flujo vehicular.

Es importante observar que las elevadas emisiones de las generadoras eléctricas se deben no solamente a su alto consumo de combustible, sino a que se utiliza crudo reducido y residuo de petróleo, combustibles que al tener un alto contenido de azufre, elevan las tasas de emisiones de contaminantes comunes y generan grandes cantidades de NO_x y SO_2 . Debe notarse que las emisiones de NO_x per cápita son más altas que el resto de cantones o jurisdicciones para las cuales se han hecho inventarios, debido a las emisiones de las generadoras eléctricas y a la baja población que habita en la zona.

Si bien se suele asumir que, debido a la baja población dentro del área de estudio, sus emisiones son bajas en comparación a los cantones más grandes del país, la zona de estudio tiene emisiones que representan el 52.84% de las emisiones de NO_x y el 61% de las emisiones de SO_2 del cantón Quito, así como el 77% de las emisiones de CO y el 74.46% de las emisiones de PM_{10} del cantón Cuenca, y el 96% de las emisiones de COVs del cantón Ambato.

Cabe recalcar que los factores de emisión utilizados en este estudio fueron obtenidos de la literatura internacional y no necesariamente corresponden a la realidad del Ecuador. Por esto, se recomienda realizar estudios para definir los factores de emisión propios para el Ecuador.

Se puede afirmar que las emisiones podrían disminuir de gran manera tomando ciertas acciones. Entre estas, destacan el dejar de utilizar el crudo reducido y el residuo de petróleo como combustible en las generadoras eléctricas y en la refinería, incentivar el uso de tecnologías para la disminución de las emisiones de contaminantes del aire y mejorar la calidad de los combustibles. Estas medidas deben estar acompañadas de ciertas medidas impuestas por los municipios, como la revisión técnica vehicular, a fin de disminuir las emisiones por parte del tráfico vehicular.

Para los parámetros físicos, se recomienda incrementar las mediciones en la zona de estudio, a fin de poder contrastar con una mayor cantidad de registros, los resultados generados por modelación. Debido a la importancia de la pluviosidad para la zona de estudio, se recomienda realizar estudios de modelación para caracterizar de mejor manera este parámetro, en relación a los registros de campo. De igual manera, se recomienda realizar estudios más detallados acerca del comportamiento de parámetros físicos en la zona de la cordillera.

De manera de mejorar la calidad de datos para realizar documentos para toma de decisiones acerca de la calidad del aire en la zona de estudio, se recomienda realizar campañas de recolección de datos de ITM en la zona de estudio, ya que la información acerca del tráfico para la zona es escasa. Además, se recomienda a los municipios y otras entidades públicas con competencias ambientales, el recolectar, validar y divulgar datos acerca de fuentes potenciales de contaminantes de la atmósfera, como la combustión de biomasa, las emisiones de la actividad ganadera y de la vegetación.

Finalmente, se recomienda evaluar la influencia de las emisiones de NO_x en los ecosistemas.

BIBLIOGRAFÍA

- AEADE. 2011. *Anuario año 2011*. Quito : Asociación de empresas automotrices del Ecuador.
- AEADE. 2012. *Anuario año 2012*. Quito : Asociación de empresas automotrices del Ecuador.
- Arango, H. 2009. *Calidad de los combustibles en Colombia*. Págs. 100 - 108.
- ARCH. 2013. Datos de consumo de combustible del año 2012 para la cuenca del Napo.
- ARCH. 2013-B. Datos de venta de combustible de estaciones de servicio para el año 2012. Quito : s.n.
- Arellano, C. 2014. *Consumo de combustibles en la refinería Amazonas y Planta de Gas*. [entrev.] F. Palermo. 16 de 3 de 2014.
- Arellano, C. 2013. *Determinación y análisis de las emisiones de contaminantes primarios y rendimiento vehicular mediante la variación del octanaje y contenido de azufre en la gasolina y diésel*. Sangolquí : Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Aschan, et al. 1994. *Microclimatic aspects of Laurel Forest in Tenerife*. Págs. 125-141.
- Baethgen, E. y Martino, D. 2000. *Cambio Climático, Gases de Efecto Invernadero e Implicancias en los Sectores Agropecuario y Forestal del Uruguay*. Montevideo : Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.
- Bajano, H., Dawidowski, L. y Reich, S. 1998. *Generación Termoeléctrica y contaminación atmosférica*. Buenos Aires : Comisión Nacional de Energía Atómica.
- Baldeón, R. 2005. *Diseño Esquemático y funcional de las instalaciones de los poliductos operados por la empresa estatal Petrocomercial a cargo de la Gerencia Regional norte*. Quito : Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Brown, S. 1997. *Bosques y cambio climático y la función de los bosques como sumideros de carbono* . s.l. : In Actas del XI Congreso Mundial Forestal: Recursos forestales y Árboles.
- Canada Environment. 2009. Environment Canada. [En línea] 19 de 11 de 2009. [Citado el: 17 de 2 de 2013.] <http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=En&n=51E3DE0C-1>.
- Canada Environment.2012. *Genesee Thermal Generating Station. Pollutant Release and Transfer Register*.
- Cantera, S. 2011. El número de autos que circulan en el mundo equivale a cerca de una sexta parte de la población global. *Reforma*.
- Casas, M. y Alarcón, M. 1999. *Meteorología y Clima*. Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya.
- Castillo, et al. 2005. *Biotecnología Ambiental*. Madrid : Tébar.

CMATI. 2013. *Refinería de Castellon. Pollutant Release and Transfer Register*. s.l. : GENERALITAT VALENCIANA-CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE, AGUA, URBANISMO Y VIVIENDA.

CONELEC. 2008. *Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*. Quito : Concejo Nacional de Electricidad.

CONELEC. 2009. *Estadística del sector ecuatoriano año 2009*. Quito : Concejo Nacional de Electricidad.

CONELEC. 2012. *Estadística del sector eléctrico Ecuatoriano 2012*. Quito : Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

CONELEC. 2013. Geoportal. [En línea] 20 de 2 de 2013. <http://geoportal.conelec.gob.ec/visor/index1.html>.

Consejería de Sanidad y Política Social. 2010. *Materia particulada (PM10 y PM2,5)*. Murcia : Consejería de Sanidad y Política Social. Región de Murcia.

CORPAIRE. 2006. *Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito 2003*. Quito : CORPAIRE.

CORPAIRE. 2008. *Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito 2005*. Quito : CORPAIRE.

CORPAIRE. 2009. *Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito 2007*. Quito : CORPAIRE.

Crouse, W. y Anglin, D. 1992. *Motorcycle Mechanics*. Barcelona : McGraw-Hill.

Developpement Durable. 2011. *Raffinerie de Provence. Pollutant Release and Transfer Register*. s.l. : Ministere de l Ecologie, du Developpement Durable, et de l Energie.

DIGESLA. 2005. *Inventario de emisiones de fuentes fijas cuenca atmosférica de la ciudad de Iquitos*. Iquitos : Dirección General de Salud Ambiental.

Ecuaworld. 2013. Ecuaworld. [En línea] 2013. <http://www.ecuaworld.com/>.

EEA. 2010. *EEA emission inventory guidebook 2009*. s.l. : European Environment Agency.

Efecto Noticias. 2013. *Solsticio de verano: el día más largo del año*. México D.F. : Efecto Noticias.

EMOV EP. 2011. *Inventario de Emisiones atmosféricas 2009*. Cuenca : EMOV-EP.

EP Petroecuador. 2012. *Calidad de combustible que distribuye EP PETROECUADOR al país*. Quito : EP Petroecuador.

EP Petroecuador. 2013. *Empresa Petredec proveera de gas butano y propano*. Quito : Petroecuador.

EP Petroecuador. 2013. EP Petroecuador. [En línea] 21 de 2 de 2013. <http://www.eppetroecuador.ec/index.htm>.

- EP Petroecuador. 2012. Ministerio de Recursos Naturales no Renovables. [En línea] 20 de 9 de 2012.
<http://www.recursosnaturales.gob.ec/confirman-calidad-de-combustible-que-distribuye-ep-petroecuador-al-pais/>.
- EP Petroecuador. 2012. *Plan Operativo año 2012*. Quito : EP Petroecuador.
- EPA. 2000. *Chapter 3: Stationary Internal Combustion Sources*. AP 42. s.l. : US Environmental Protection Agency.
- EPA. 1996. *DARS: Data Attribute Rating System*. s.l. : Environmental Protection Agency of United States.
- EPA. 1996. *Large Stationary Diesel and All Stationary Dual - Fuel Engines*. AP 42. s.l. : Environmental Protection Agency.
- EPA. 2012. *Monóxido de carbono*. s.l. : U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA. 1995. *Natural Gas Processing*. AP 42. s.l. : Environmental Protection Agency of United States.
- EPA. 2005. *Óxidos de nitrógeno (NOx), ¿Por qué y como se controlan?* s.l. : Environmental Protection Agency of United States.
- EPA. 1995. *Petroleum Refining*. AP 42. Washington D.C. : United States Environmental Protection Agency.
- EPA. 1995. *Transportation And Marketing Of Petroleum Liquids*. AP 42. s.l. : Environmental Protection Agency of United States.
- Figueruelo, J. y Davila, M. 2004. *Química Física del ambiente y de los procesos medioambientales*. Barcelona : Reverté.
- Fundación Natura. 2009. *Resumen del inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca año base 2007*. Cuenca : Fundación Natura.
- Hinz, E. y Howard, J. 2006. *Landfalls of Paradise: Cruising Guide to the Pacific Islands*. United States of America: Maple-Vail Book Manufacturing Group.
- Huber, M. 2010. Science Daily. [En línea] 5 de 5 de 2010.
<http://www.sciencedaily.com/releases/2010/05/100504155413.htm>.
- IGM. 2013. Geoportal Instituto Geográfico Militar. [En línea] 2013.
<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/cartografia-de-libre-acceso/>.
- INAMHI. 2006. *Anuario meteorológico 2006*. Quito : INAMHI.
- INAMHI. 2013. Registros de parámetros físicos para la cuenca del río Napo. Año 2012. s.l. : Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- INEC. 2010. *Censo año 2010*. Quito : Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

INEC 2013. Datos de vehículos matriculados año 2010. Quito.

INEC 2013. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. [En línea] 15 de 6 de 2013.

<http://www.inec.gob.ec/estadisticas/>.

INECC. 2013. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. [En línea] 24 de 6 de 2013.

<http://www.inecc.gob.mx/calair-informacion-basica/525-calair-cont-primarios-secundarios>.

INTEF. 2014. Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. [En línea] 30 de 3 de 2014. <http://www.ite.educacion.es/>.

IPCC. 2007. *Greenhouse Gas Emissions Scenarios*. s.l. : Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. 2007. *Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis*. Ginebra : Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

IPCC. 2006. *Draft 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. s.l. : Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. 2005. *La Captación y el Almacenamiento de Dióxido de Carbono*. s.l. : Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

IPCC. 2012. *Summary Report: Global Anthropogenic Non- CO2 greenhouse Gas Emissions: 1990-2030*. Washington D.C. : U.S. Environmental Protection Agency.

IPCC. 1996. *Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático*. s.l. : Panel Intergubernamental para el cambio climático.

ISUZU. 2014. *Comparación motores a diésel y a gasolina*. México D.F. : Isuzu Motors.

Labrandero, J. y Martínez, J. 1998. *Sistemas de información geográfica en la planificación ambiental de áreas de montaña*. Madrid : CSIC.

Levelton. 2003. *Benchmarking of Refinery Emissions Performance*. Richmond : Levelton Engineering Solutions.

MAE. 2012. *Factor de emisión del sistema nacional interconectado al año 2012*. Quito : MAE.

MAE. 2008. *Inventario Nacional de Emisiones de Mercurio y Productos que Contienen Mercurio*. Quito : Ministerio del Ambiente.

MAE. 2013. *Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire, de los cantones Ambato, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro*. Quito : Ministerio del Ambiente.

MAE. 2007. *Plan de manejo Reserva Ecológica Cotacachi - Cayapas*. Quito : Ministerio del Ambiente.

MAE/ESPOL-ICQ. 2004. *Inventario preliminar de emisiones de dioxinas y furanos en el Ecuador*. Quito : Ministerio del Ambiente.

MAGAP. 2002. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. [En línea] 2002.
<http://geoportal.magap.gob.ec/>.

Ministerio de Turismo. 2012. *Boletín de estadísticas turísticas del período 2006-2010*. Quito : Mnisterio de Turismo.

Nebreda, M., et al. 2005. *Impacto de cubiertas agrotexiles en el control de pulgones, mosca blanca y virus de cultivos de lechuga y brócoli*.

NLM. 2014. *Derivados de la hemoglobina*. s.l. : U.S. National Library of Medicine.

NOAA. 2013. Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division. [En línea] 16 de 3 de 2013.
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/index.html>.

NOAA. 2014. Earth System Research Laboratory. Global Monitoring Division. [En línea] 2 de 5 de 2014.
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.

OAS Department of Sustainable Development. 1987. *Comisión Mixta de Cooperación Amazónica - Ecuatoriano - Colombiana - Plan de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas de los Ríos San Miguel y Putumayo*. Washington D.C. : Organization of American States.

Oliver, J. 2005. *The encyclopedia of World Climatology*. Dordrecht : Springer.

OMS. 2011. *Calidad del Aire y Salud*. s.l. : Organización Mundial de la Salud.

Osinermin. 2011. *Propiedades y características del gas licuado de petróleo*. Lima : Osinermin.

Pachacama Quinca, S.G. 2011. *Simulación del proceso de hidrosulfuración de diesel proveniente de la refinería estatal de Esmeraldas*. Quito : Universidad Central del Ecuador.

Parra, R. 2012. *Evaluación preliminar de la temperatura media en superficie del Ecuador para el año 2010, obtenida mediante el modelo Weather Research Forecasting (WRF)*. Quito : AVANCES en ciencias e ingenierías.

Parra, R 2014. Factores de emisión de contaminantes, recorrido típico anual y rendimiento de combustible para parque vehicular. Quito.

Peralta y Préndez. 2005. *Determinación de Factores de Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles de Dos Especies Arbóreas de la Región Metropolitana, Chile*. Págs. 17-28.

Querol, X. 2008. *Air quality, particles and metals*.

Quito Ambiente. 2012. *Plan de Acción Climático de Quito*. Quito : Secretaría del Ambiente.

- Restrepo, A., Izquierdo, S. y López, R. 2007. *Estimación de factores que inciden sobre la contaminación ambiental generada por fuentes móviles en Pereira*. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira.
- Reynoso, García. 2009. *Influencia de la meteorología en la calidad del aire en la zona metropolitana del valle de México*. Págs. 83-86.
- Romero, A . y Almeida, P. 2012. *Inventario de emisiones atmosféricas a partir de fuentes fijas, móviles y de área de Latacunga*. Quito : UCE.
- Romero, C. 2011. *Marco teórico y estudio completo sobre el aceite quemado y el bunker*. Quito : Universidad Politécnica Salesiana.
- Sánchez, M. E. 2013. *Estimación de las Emisiones de PM10 y PM2.5 por Resuspensión Eólica en Ecuador durante el año 2010*. Quito : Universidad San Francisco de Quito.
- Sendiña, I. 2006. *Fundamentos de meteorología*. Santiago de Compostela : Manuais Universitarios.
- Sinche, D. 2012. *Caracterización físico-química de naftas producidas en la refinería estatal de Esmeraldas mediante cromatografía de gases*. Quito : Facultad de ingeniería química Universidad Central del Ecuador.
- Smith, W. 1974. *Air pollution-effects on the structure and function of the temperate forest ecosystem*. págs. 111-129.
- Toro, M., Cremades, L. y Ramirez, J. 2005. *Inventario de Emisiones Biogénicas en el valle de Aburrá*.
- Torres, C. 2011. *Petrocomercial, con más presencia en el servicio de gasolineras. Entrevista con Coordinador de Mercadeo y Servicio al Cliente de EP Petroecuador*. [entrev.] Telégrafo. 19 de 12 de 2011.
- UCE. 2011. *Informe de resultados: Petróleo*. Quito : Universidad Central del Ecuador.
- Universidad de Castilla - La Mancha. 2009. *Eliminación de compuestos orgánicos volátiles (COVs)*. Castilla : Universidad de Castilla - La Mancha. Departamento de Ingeniería Química.
- Universidad Pontificia Bolivariana. 2010. *Estudio de emisión y dispersión de contaminantes para condiciones de cambio de combustible*. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia.
- USFQ. 2013. *Catálogo Ecuador*. Quito : Universidad San Francisco de Quito.
- Van Aardenne, J. y Pulles, T. 2002. *Uncertainty in emission inventories: What do we mean and how could we assess it?* Apeldoorn : TNO Institute of Environmental Sciences, Energy and Process Innovation.
- VisitaEcuador. 2013. *Visita Ecuador*. [En línea] .
<https://visitaecuador.com/ve/mostrarRegistro.php?idRegistro=296&informacion=3>.
- Viteri, M. 2012. *Estimación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de la vegetación del Ecuador durante el año 2010*. Quito : Universidad San Francisco de Quito.

Wark, K., Warner, C. y Davis, W. 1998. Air Pollution: its origin and control. *Air Pollution: its origin and control*. Berkeley, California : Addison-Wesley Longman, págs. 2-3.

Wolterbeek, B. 2002. *Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives*.

ANEXO A

Participación porcentual de cada categoría de vehículos, vehículos a gasolina.

Participación porcentual vehículos a Gasolina (%)						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1989 y anteriores	0.64	1.17	1.24	0.81	0.10	0.02
1990	0.23	0.10	0.10	0.04	0.00	0.00
1991	0.26	0.13	0.15	0.06	0.00	0.01
1992	0.33	0.18	0.28	0.06	0.00	0.00
1993	0.26	0.28	0.20	0.07	0.01	0.00
1994	0.42	0.40	0.25	0.11	0.03	0.00
1995	0.31	0.39	0.20	0.13	0.01	0.00
1996	0.25	0.39	0.13	0.13	0.01	0.00
1997	0.20	0.33	0.27	0.07	0.01	0.00
1998	0.25	0.50	0.37	0.15	0.01	0.00
1999	0.18	0.47	0.20	0.08	0.02	0.00
2000	0.05	0.13	0.08	0.00	0.01	0.00
2001	0.30	0.66	0.47	0.04	0.11	0.00
2002	0.51	1.18	0.38	0.08	0.33	0.00
2003	0.42	1.14	0.30	0.06	0.43	0.01
2004	0.37	0.83	0.22	0.06	0.97	0.01
2005	0.51	1.02	0.31	0.06	1.24	0.01
2006	0.81	1.32	0.25	0.04	3.28	0.01
2007	0.59	1.14	0.31	0.04	1.85	0.00
2008	0.44	1.02	0.26	0.04	3.80	0.00
2009	0.73	1.13	0.39	0.04	8.73	0.00
2010	0.52	0.59	0.20	0.02	9.87	0.00
2011	0.55	0.62	0.21	0.02	10.45	0.00
2012	0.48	0.54	0.18	0.01	9.07	0.00
Subtotal	9.62	15.67	6.94	2.23	50.37	0.08

Participación porcentual de cada categoría de vehículos, vehículos a diésel.

Participación porcentual vehículos a Diésel (%)						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1989 y anteriores	0.00	0.05	0.02	1.24	0.06	0.01
1990	0.00	0.01	0.00	0.09	0.00	0.01
1991	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00
1992	0.00	0.01	0.00	0.16	0.00	0.01
1993	0.00	0.01	0.00	0.09	0.00	0.01
1994	0.00	0.01	0.00	0.22	0.00	0.03
1995	0.00	0.01	0.00	0.15	0.00	0.03
1996	0.00	0.01	0.00	0.15	0.01	0.01
1997	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.02
1998	0.00	0.02	0.00	0.19	0.00	0.06
1999	0.00	0.01	0.00	0.14	0.01	0.03
2000	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00
2001	0.00	0.02	0.01	0.23	0.00	0.04
2002	0.00	0.07	0.00	0.66	0.00	0.11
2003	0.01	0.11	0.00	0.43	0.00	0.05
2004	0.01	0.14	0.00	0.36	0.00	0.02
2005	0.00	0.13	0.01	0.60	0.00	0.04
2006	0.00	0.20	0.01	0.73	0.01	0.10
2007	0.01	0.39	0.01	0.63	0.02	0.06
2008	0.00	0.27	0.02	0.60	0.03	0.02
2009	0.00	0.88	0.02	1.19	0.04	0.04
2010	0.00	0.63	0.00	0.45	0.01	0.11
2011	0.00	0.66	0.00	0.47	0.01	0.12
2012	0.00	0.57	0.00	0.40	0.01	0.10
Subtotal	0.03	4.22	0.12	9.44	0.22	1.04

Recorrido típico por tipo de vehículo, vehículos a gasolina.

Recorrido típico (km/año) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1990 y anteriores	9000	9000	9000	10000	4000	9000
1991 - 1995	9000	9000	9000	10000	8000	9000
1996 - 1999	12 000	12 000	12 000	10 000	8 000	12 000
2000	14 000	13 000	13 000	10 000	12 000	14 000
2001	14 000	15 000	15 000	10 000	12 000	14 000
2002 - 2004	14 000	16 000	16 000	10 000	12 000	14 000
2005 - 2007	15 000	16 000	16 000	10 000	12 000	15 000
2008	17 000	17 000	17 000	12 000	12 000	17 000
2009 - 2012	18 000	18 000	18 000	12 000	12 000	18 000

Recorrido típico por tipo de vehículo, vehículos a diésel.

Recorrido típico (km/año) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1993 y anteriores	12 000	25 000	12 000	30 000	19 750	90 000
1994 - 1995	12 000	25 000	12 000	50 000	24 750	90 000
1996 - 1999	15 000	28 000	15 000	50 000	27 000	90 000
2000 - 2002	15 000	28 000	15 000	75 000	33 250	90 000
2003 - 2004	16 000	35 000	16 000	75 000	35 500	90 000
2005 - 2006	16 000	40 000	16 000	75 000	36 750	90 000
2007	16 000	50 000	16 000	75 000	39 250	90 000
2008 - 2012	17 000	50 000	17 000	75 000	39 750	90 000

Rendimiento por tipo de vehículo, vehículos a gasolina.

Rendimiento (km/gal) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1992 y anteriores	25	22	22	15	40	25
1993 - 1999	25	22	22	15	40	30
2000 - 2002	30	25	25	22	50	35
2003 - 2004	35	30	30	22	50	35
2005 - 2012	35	30	30	28	50	35

Rendimiento por tipo de vehículo, vehículos a diésel.

Rendimiento (km/gal) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1990 y anteriores	25	25	25	18	22.6	20
1991 - 1995	30	30	30	18	25.6	20
1996 - 1999	30	30	30	20	26	20
2000 - 2003	35	35	35	22	29.8	22
2004 - 2012	40	35	35	22	30.8	22

Factores de emisión de NO_x, por categoría de vehículo, vehículos a gasolina.

NO _x (g/km) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1989 y anteriores	1.69	2.09	2.15	3.73	0.28	1.98
1990	1.71	2.09	2.15	4.39	0.28	1.98
1991	1.69	2.09	2.14	4.00	0.28	1.97
1992	1.61	1.97	2.02	3.97	0.28	1.87
1993	1.56	1.90	1.95	2.82	0.28	1.80
1994	1.50	1.84	1.88	2.80	0.28	1.74
1995	1.45	1.79	1.82	2.78	0.28	1.69
1996	1.41	1.73	1.76	2.75	0.28	1.63
1997	1.36	1.67	1.68	2.73	0.28	1.57
1998	1.32	1.60	1.61	2.71	0.28	1.51
1999	1.22	1.50	1.51	2.67	0.28	1.41
2000	1.15	1.42	1.43	2.63	0.28	1.33
2001	1.10	1.35	1.36	2.59	0.28	1.27
2002	1.04	1.28	1.29	2.55	0.28	1.20
2003	0.99	1.21	1.21	2.51	0.28	1.14
2004	0.94	1.14	1.13	2.47	0.28	1.07
2005	0.88	1.06	1.05	2.44	0.28	1.00
2006	0.83	0.99	0.97	2.41	0.28	0.93
2007	0.82	0.94	0.92	2.38	0.28	0.89
2008 - 2012	0.81	0.94	0.91	2.38	0.28	0.89

Factores de emisión de NO_x, por categoría de vehículo, vehículos a diésel.

NO _x (g/km) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1989 y anteriores	0.83	1.97	1.97	9.90	1.97	17.23
1990	0.82	1.95	1.95	9.90	1.95	17.23
1991	0.81	1.63	1.63	5.20	1.63	17.84
1992	0.80	1.60	1.60	5.16	1.60	17.84
1993	0.79	1.55	1.55	5.94	1.55	14.12
1994	0.78	1.52	1.52	5.92	1.52	14.10
1995	0.77	1.49	1.49	5.90	1.49	14.08
1996	0.76	1.46	1.46	5.88	1.46	14.06
1997	0.75	1.44	1.44	5.86	1.44	14.05
1998	0.74	1.41	1.41	5.85	1.41	14.03
1999	0.73	1.38	1.38	5.83	1.38	14.01
2000	0.72	1.30	1.30	5.81	1.30	13.99
2001	0.71	1.21	1.21	5.79	1.21	13.97
2002	0.70	1.15	1.15	5.77	1.15	13.41
2003	0.69	1.06	1.06	5.75	1.06	11.78
2004	0.68	1.04	1.04	5.73	1.04	13.89
2005	0.67	0.96	0.96	5.72	0.96	13.86
2006	0.66	0.84	0.84	5.70	0.84	13.83
2007	0.65	0.75	0.75	5.68	0.75	13.80
2008 - 2012	0.64	0.73	0.73	5.68	0.73	13.80

Factores de emisión de CO, por categoría de vehículo, vehículos a gasolina.

CO (g/km) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1989 y anteriores	16.48	29.30	30.57	98.64	37.27	29.94
1990	13.76	26.06	27.26	89.88	37.27	26.66
1991	13.13	23.81	24.88	60.50	37.27	24.35
1992	12.88	21.54	22.51	59.70	37.27	22.03
1993	12.51	19.98	20.82	36.54	37.27	20.40
1994	11.96	19.12	19.75	35.72	37.27	19.43
1995	11.53	18.52	19.17	34.89	37.27	18.84
1996	11.19	17.85	18.37	34.06	37.27	18.11
1997	10.81	17.08	17.42	33.23	37.27	17.25
1998	10.41	16.23	16.56	32.41	35.33	16.40
1999	9.57	14.85	15.28	31.22	33.39	15.06
2000	8.96	13.66	14.07	29.84	31.45	13.87
2001	8.45	12.59	12.95	28.46	29.50	12.77
2002	7.91	11.50	11.77	27.08	27.56	11.63
2003	7.35	10.43	10.57	25.70	25.62	10.50
2004	6.79	9.31	9.40	24.32	23.68	9.35
2005	6.21	8.20	8.20	23.14	21.74	8.20
2006	5.62	7.07	6.96	21.84	19.80	7.01
2007	5.40	6.18	5.94	20.74	17.86	6.06
2008 - 2012	5.16	5.67	5.38	20.74	17.86	5.52

Factores de emisión de CO, por categoría de vehículo, vehículos a diésel.

CO (g/km) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1989 y anteriores	1.49	2.98	2.98	37.88	2.98	37.88
1990	1.47	2.94	2.94	37.52	2.94	37.52
1991	1.45	2.91	2.91	11.06	2.91	11.06
1992	1.44	2.87	2.87	11.05	2.87	11.05
1993	1.42	2.83	2.83	15.79	2.83	15.79
1994	1.40	2.80	2.80	15.73	2.80	15.73
1995	1.38	2.76	2.76	15.66	2.76	15.66
1996	1.36	2.72	2.72	15.59	2.72	15.59
1997	1.35	2.68	2.68	15.53	2.68	15.53
1998	1.33	2.65	2.65	15.47	2.65	15.47
1999	1.31	2.57	2.57	15.41	2.57	15.41
2000	1.29	2.10	2.10	15.34	2.10	15.34
2001	1.28	2.13	2.13	15.24	2.13	15.24
2002	1.26	1.92	1.92	15.15	1.92	15.15
2003	1.24	1.93	1.93	15.06	1.93	15.06
2004	1.22	2.08	2.08	14.97	2.08	14.97
2005	1.20	1.71	1.71	14.87	1.71	14.87
2006	1.19	1.55	1.55	14.75	1.55	14.75
2007	1.17	1.54	1.54	14.63	1.54	14.63
2008 - 2012	1.16	1.67	1.67	14.63	1.67	14.63

Factores de emisión de COV, por categoría de vehículo, vehículos a gasolina.

COV (g/km) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1989 y anteriores	3.90	3.94	3.95	7.70	8.22	3.93
1990	3.64	3.69	3.73	5.13	8.22	3.69
1991	3.41	3.47	3.51	4.41	8.22	3.46
1992	3.16	3.18	3.21	4.21	8.22	3.18
1993	2.86	2.93	2.95	3.49	8.22	2.92
1994	2.54	2.70	2.70	3.25	8.22	2.65
1995	2.26	2.47	2.49	3.02	8.22	2.40
1996	2.00	2.23	2.24	2.78	8.22	2.16
1997	1.76	2.00	2.00	2.55	8.22	1.92
1998	1.55	1.79	1.79	2.34	7.53	1.71
1999	1.29	1.54	1.57	2.11	6.85	1.47
2000	1.12	1.35	1.38	1.90	6.17	1.28
2001	0.99	1.19	1.22	1.72	5.49	1.13
2002	0.88	1.06	1.07	1.56	4.81	1.00
2003	0.80	0.93	0.94	1.42	4.14	0.89
2004	0.73	0.82	0.83	1.29	3.46	0.79
2005	0.67	0.73	0.72	1.18	2.79	0.70
2006	0.62	0.64	0.62	1.08	2.11	0.63
2007	0.60	0.58	0.56	0.99	1.44	0.58
2008 - 2012	0.58	0.55	0.52	0.99	1.44	0.55

Factores de emisión de COV, por categoría de vehículo, vehículos a diésel.

COV (g/km) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1989 y anteriores	0.54	1.77	1.77	2.75	1.77	4.79
1990	0.53	1.73	1.73	2.75	1.73	4.79
1991	0.51	1.69	1.69	1.75	1.69	3.05
1992	0.50	1.65	1.65	1.73	1.65	3.04
1993	0.49	1.61	1.61	1.35	1.61	3.16
1994	0.47	1.57	1.57	1.34	1.57	3.16
1995	0.46	1.53	1.53	1.34	1.53	3.16
1996	0.45	1.49	1.49	1.34	1.49	3.16
1997	0.43	1.45	1.45	1.33	1.45	3.16
1998	0.42	1.41	1.41	1.33	1.41	3.16
1999	0.41	1.36	1.36	1.33	1.36	3.16
2000	0.39	1.12	1.12	1.32	1.12	3.16
2001	0.38	1.05	1.05	1.32	1.05	3.16
2002	0.37	0.92	0.92	1.32	0.92	3.16
2003	0.35	0.84	0.84	1.31	0.84	3.16
2004	0.34	0.85	0.85	1.31	0.85	3.16
2005	0.33	0.68	0.68	1.31	0.68	3.16
2006	0.31	0.52	0.52	1.31	0.52	3.16
2007	0.30	0.42	0.42	1.30	0.42	3.16
2008 - 2012	0.29	0.42	0.42	1.30	0.42	3.16

Factores de emisión de PM₁₀, por categoría de vehículo, vehículos a gasolina.

PM10 (g/km) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1989 y anteriores	0.02	0.02	0.02	0.07	0.01	0.02
1990	0.02	0.03	0.03	0.07	0.01	0.03
1991 - 2008	0.02	0.02	0.02	0.07	0.01	0.02
2009 - 2012	0.02	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02

Factores de emisión de PM₁₀, por categoría de vehículo, vehículos a diésel.

PM10 (g/km) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1989 y anteriores	0.12	0.17	0.17	0.74	0.15	0.74
1990	0.14	0.21	0.21	0.74	0.18	0.74
1991	0.14	0.17	0.17	0.74	0.16	0.74
1992 - 1993	0.14	0.15	0.15	0.74	0.15	0.74
1994 - 2001	0.14	0.14	0.14	0.74	0.14	0.74
2002 - 2007	0.14	0.13	0.13	0.64	0.14	0.64
2008 - 2012	0.14	0.13	0.13	0.62	0.14	0.62

Factores de emisión de PM_{2.5}, por categoría de vehículo, vehículos a gasolina.

PM2.5 (g/km) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1989 y anteriores	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01
1990	0.01	0.01	0.02	0.05	0.01	0.01
1991 - 2012	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01

Factores de emisión de PM_{2.5}, por categoría de vehículo, vehículos a diésel.

PM2.5 (g/km) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1989 y anteriores	0.11	0.14	0.14	0.62	0.14	0.62
1990	0.13	0.18	0.18	0.62	0.18	0.62
1991	0.13	0.15	0.15	0.62	0.15	0.62
1992 - 1993	0.13	0.13	0.13	0.62	0.13	0.62
1994 - 2001	0.13	0.12	0.12	0.62	0.12	0.62
2002 - 2007	0.13	0.12	0.12	0.54	0.12	0.54
2008 - 2012	0.13	0.12	0.12	0.52	0.12	0.52

Factores de emisión de CO₂, por categoría de vehículo, vehículos a gasolina.

CO ₂ (g/km) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1992 y anteriores	303.78	345.20	345.20	506.30	189.86	303.78
1993 - 1997	303.78	345.20	345.20	506.30	189.86	253.15
1998 - 1999	303.78	303.78	303.78	506.30	189.86	253.15
2000 - 2002	253.15	303.78	303.78	345.20	151.90	216.98
2003 - 2004	216.98	253.15	253.15	345.20	151.90	216.98
2005 - 2012	216.98	253.15	253.15	271.23	151.90	216.98

Factores de emisión de CO₂, por categoría de vehículo, vehículos a gasolina.

CO ₂ (g/km) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1990 y anteriores	402.60	402.60	402.60	559.17	445.35	503.25
1991 - 1995	335.50	335.50	335.50	559.17	393.16	503.25
1996 - 1999	335.50	335.50	335.50	503.25	387.12	503.25
2000 - 2003	287.57	287.57	287.57	457.50	337.75	457.50
2004 - 2012	251.63	287.57	287.57	457.50	326.79	457.50

Composición parque vehicular. Vehículos a gasolina.

Gasolina							
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase	Total
1989 y anteriores	606	1106	1167	761	97	22	3759
1990	219	91	94	33	0	0	437
1991	241	119	144	58	2	8	572
1992	308	172	264	55	2	2	803
1993	244	261	186	66	8	0	765
1994	400	378	233	105	27	2	1145
1995	289	369	191	119	8	2	978
1996	236	369	125	125	15	0	870
1997	191	311	255	69	13	0	839
1998	236	472	347	144	13	0	1212
1999	166	439	191	75	22	0	893
2000	44	125	75	0	13	0	257
2001	283	625	442	33	102	2	1487
2002	478	1109	355	75	308	2	2327
2003	392	1073	283	55	403	5	2211
2004	353	778	203	55	914	8	2311
2005	483	964	291	61	1173	5	2977
2006	767	1248	233	41	3095	5	5389
2007	556	1073	289	41	1751	0	3710
2008	411	962	244	41	3586	2	5246
2009	686	1067	369	36	8239	0	10 397
2010	495	556	186	16	9312	2	10 567
2011	522	586	194	16	9854	2	11 174
2012	453	506	166	8	8550	0	9683
Total	9059	14 759	6527	2088	47 507	69	80 009

Composición parque vehicular. Vehículos a diésel.

Diésel							
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses	Total
1989 y anteriores	0	45	15	1066	50	10	1186
1990	0	5	0	75	0	5	85
1991	0	2	0	113	0	0	115
1992	0	5	0	139	2	12	158
1993	0	5	0	80	0	7	92
1994	0	10	0	187	0	22	219
1995	0	10	0	128	2	22	162
1996	2	7	0	131	7	12	159
1997	0	2	0	70	0	20	92
1998	0	20	0	166	2	53	241
1999	0	7	0	123	10	22	162
2000	0	0	7	20	2	2	31
2001	0	17	7	194	2	32	252
2002	2	63	0	563	2	93	723
2003	5	91	0	369	0	42	507
2004	5	121	2	310	2	17	457
2005	0	108	5	515	2	35	665
2006	2	174	12	624	7	88	907
2007	5	333	12	538	15	55	958
2008	0	235	15	515	25	17	807
2009	0	758	15	1023	30	32	1858
2010	0	538	2	386	7	96	1029
2011	0	566	2	401	7	101	1077
2012	0	487	0	343	5	85	920
Total	21	3609	94	8079	179	880	12 862

Emisiones de NO_x del parque vehicular a gasolina en la zona de estudio (t/año).

Emisión NO _x (t) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1989 y anteriores	9.21	20.80	22.55	28.41	0.11	0.39
1990	3.37	1.71	1.82	1.45	0.00	0.00
1991	3.66	2.24	2.77	2.32	0.00	0.14
1992	4.46	3.05	4.81	2.18	0.00	0.03
1993	3.42	4.47	3.27	1.86	0.02	0.00
1994	5.39	6.27	3.94	2.94	0.06	0.03
1995	3.76	5.94	3.14	3.31	0.02	0.03
1996	3.98	7.66	2.63	3.44	0.03	0.00
1997	3.12	6.23	5.14	1.89	0.03	0.00
1998	3.73	9.09	6.72	3.90	0.03	0.00
1999	2.44	7.89	3.47	2.01	0.05	0.00
2000	0.71	2.30	1.40	0.00	0.04	0.00
2001	4.36	12.64	9.03	0.86	0.34	0.04
2002	6.98	22.69	7.31	1.92	1.04	0.03
2003	5.43	20.75	5.48	1.38	1.35	0.08
2004	4.62	14.14	3.68	1.36	3.07	0.12
2005	6.36	16.36	4.90	1.49	3.94	0.07
2006	9.56	19.71	3.61	0.99	10.40	0.07
2007	6.81	16.21	4.24	0.97	5.89	0.00
2008	5.66	15.36	3.78	1.17	12.05	0.03
2009	10.00	18.05	6.04	1.03	27.68	0.00
2010	7.22	9.41	3.05	0.46	31.29	0.03
2011	7.61	9.92	3.18	0.46	33.11	0.03
2012	6.60	8.56	2.72	0.23	28.73	0.00

Emisiones de NO_x del parque vehicular a diésel en la zona de estudio (t/año).

Emisiones NO _x (t) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1989 y anteriores	0.00	2.22	0.36	316.66	1.95	15.50
1990	0.00	0.24	0.00	22.28	0.00	7.75
1991	0.00	0.08	0.00	17.64	0.00	0.00
1992	0.00	0.20	0.00	21.51	0.06	19.27
1993	0.00	0.19	0.00	14.25	0.00	8.89
1994	0.00	0.38	0.00	55.33	0.00	27.92
1995	0.00	0.37	0.00	37.76	0.07	27.88
1996	0.02	0.29	0.00	38.53	0.28	15.19
1997	0.00	0.08	0.00	20.52	0.00	25.29
1998	0.00	0.79	0.00	48.52	0.08	66.93
1999	0.00	0.27	0.00	35.84	0.37	27.75
2000	0.00	0.00	0.14	8.71	0.09	2.52
2001	0.00	0.58	0.13	84.25	0.08	40.23
2002	0.02	2.02	0.00	243.71	0.08	112.22
2003	0.06	3.37	0.00	159.21	0.00	44.52
2004	0.05	4.39	0.03	133.32	0.07	21.25
2005	0.00	4.16	0.08	220.76	0.07	43.67
2006	0.02	5.84	0.16	266.61	0.22	109.55
2007	0.05	12.42	0.14	229.11	0.44	68.30
2008	0.00	8.59	0.19	219.31	0.73	21.11
2009	0.00	27.67	0.19	435.80	0.87	39.74
2010	0.00	19.64	0.02	164.44	0.20	119.23
2011	0.00	20.66	0.02	170.83	0.20	114.26
2012	0.00	17.78	0.00	146.12	0.15	94.89

Emisiones de CO del parque vehicular a gasolina en la zona de estudio (t/año).

Emisión CO (t) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1989 y anteriores	89.86	291.66	321.11	750.66	14.46	5.93
1990	27.12	21.35	23.06	29.66	0.00	0.00
1991	28.49	25.50	32.25	35.09	0.60	1.75
1992	35.71	33.35	53.48	32.83	0.60	0.40
1993	27.46	46.94	34.85	24.12	2.39	0.00
1994	43.05	65.04	41.42	37.50	8.05	0.35
1995	29.98	61.51	32.95	41.52	2.39	0.34
1996	31.69	79.03	27.55	42.58	4.47	0.00
1997	24.77	63.72	53.31	22.93	3.88	0.00
1998	29.49	91.95	68.97	46.67	3.67	0.00
1999	19.07	78.22	35.01	23.42	5.88	0.00
2000	5.52	22.20	13.72	0.00	4.91	0.00
2001	33.48	118.05	85.89	9.39	36.11	0.36
2002	52.95	204.03	66.86	20.31	101.87	0.33
2003	40.36	179.00	47.87	14.13	123.91	0.73
2004	33.55	115.87	30.53	13.37	259.73	1.05
2005	44.96	126.55	38.16	14.12	306.01	0.62
2006	64.67	141.13	25.93	8.96	735.31	0.53
2007	45.05	106.17	27.47	8.50	375.22	0.00
2008	36.07	92.68	22.31	10.20	768.44	0.19
2009	63.75	108.90	35.73	8.96	1765.78	0.00
2010	46.00	56.75	18.01	3.98	1995.75	0.20
2011	48.51	59.81	18.79	3.98	2111.91	0.20
2012	42.10	51.64	16.08	1.99	1832.44	0.00

Emisiones de CO del parque vehicular a diésel en la zona de estudio (t/año).

Emisión CO (t) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1989 y anteriores	0.00	3.35	0.54	1211.38	2.94	34.09
1990	0.00	0.37	0.00	84.43	0.00	16.89
1991	0.00	0.15	0.00	37.49	0.00	0.00
1992	0.00	0.36	0.00	46.07	0.11	11.93
1993	0.00	0.35	0.00	37.89	0.00	9.95
1994	0.00	0.70	0.00	147.04	0.00	31.14
1995	0.00	0.69	0.00	100.21	0.14	31.00
1996	0.04	0.53	0.00	102.14	0.51	16.84
1997	0.00	0.15	0.00	54.36	0.00	27.96
1998	0.00	1.48	0.00	128.43	0.14	73.81
1999	0.00	0.50	0.00	94.79	0.69	30.52
2000	0.00	0.00	0.22	23.01	0.14	2.76
2001	0.00	1.01	0.22	221.80	0.14	43.90
2002	0.04	3.39	0.00	639.83	0.13	126.83
2003	0.10	6.15	0.00	416.84	0.00	56.93
2004	0.10	8.80	0.07	347.95	0.15	22.90
2005	0.00	7.39	0.14	574.31	0.13	46.84
2006	0.04	10.76	0.30	690.52	0.40	116.86
2007	0.09	25.72	0.30	590.51	0.91	72.44
2008	0.00	19.57	0.42	565.27	1.66	22.39
2009	0.00	63.29	0.43	1122.49	1.99	42.13
2010	0.00	44.92	0.06	423.54	0.46	126.40
2011	0.00	47.26	0.06	440.00	0.46	132.99
2012	0.00	40.66	0.00	376.36	0.33	111.92

Emisiones de COV del parque vehicular a gasolina en la zona de estudio (t/año).

Emisión COV (t) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1989 y anteriores	39.20	41.52	58.59	3.19	0.78	0.00
1990	3.02	3.15	1.69	0.00	0.00	0.00
1991	3.71	4.54	2.56	0.13	0.25	0.00
1992	4.93	7.62	2.32	0.13	0.06	0.00
1993	6.89	4.94	2.30	0.53	0.00	0.00
1994	9.19	5.67	3.42	1.77	0.05	0.00
1995	8.20	4.27	3.59	0.53	0.04	0.00
1996	9.89	3.37	3.48	0.99	0.00	0.00
1997	7.48	6.13	1.76	0.85	0.00	0.00
1998	10.12	7.47	3.37	0.78	0.00	0.00
1999	8.12	3.59	1.58	1.21	0.00	0.00
2000	2.20	1.34	0.00	0.96	0.00	0.00
2001	11.20	8.09	0.57	6.72	0.03	0.00
2002	18.73	6.11	1.17	17.79	0.03	0.00
2003	16.02	4.27	0.78	20.01	0.06	0.00
2004	10.25	2.69	0.71	37.97	0.09	0.00
2005	11.19	3.37	0.72	39.23	0.05	0.00
2006	12.68	2.33	0.44	78.47	0.05	0.00
2007	9.93	2.58	0.41	30.23	0.00	0.00
2008	8.95	2.17	0.49	61.92	0.02	0.00
2009	10.56	3.45	0.43	142.37	0.00	0.00
2010	5.50	1.74	0.19	160.91	0.02	0.00
2011	5.80	1.82	0.19	170.28	0.02	0.00
2012	5.01	1.55	0.10	147.74	0.00	0.00

Emisiones de COV del parque vehicular a diésel en la zona de estudio (t/año).

Emisión COV (t) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1989 y anteriores	0.00	1.99	0.32	88.00	1.75	4.31
1990	0.00	0.22	0.00	6.19	0.00	2.15
1991	0.00	0.08	0.00	5.92	0.00	0.00
1992	0.00	0.21	0.00	7.19	0.07	3.29
1993	0.00	0.20	0.00	3.23	0.00	1.99
1994	0.00	0.39	0.00	12.55	0.00	6.26
1995	0.00	0.38	0.00	8.57	0.08	6.26
1996	0.01	0.29	0.00	8.75	0.28	3.41
1997	0.00	0.08	0.00	4.67	0.00	5.69
1998	0.00	0.79	0.00	11.04	0.08	15.08
1999	0.00	0.27	0.00	8.16	0.37	6.26
2000	0.00	0.00	0.12	1.99	0.07	0.57
2001	0.00	0.50	0.11	19.22	0.07	9.10
2002	0.01	1.62	0.00	55.64	0.06	26.46
2003	0.03	2.66	0.00	36.38	0.00	11.95
2004	0.03	3.61	0.03	30.49	0.06	4.84
2005	0.00	2.95	0.05	50.53	0.05	9.96
2006	0.01	3.62	0.10	61.07	0.13	25.04
2007	0.02	6.94	0.08	52.53	0.25	15.65
2008	0.00	4.89	0.11	50.29	0.41	4.84
2009	0.00	15.92	0.11	99.74	0.50	9.10
2010	0.00	11.30	0.01	37.64	0.12	27.30
2011	0.00	11.89	0.01	39.10	0.12	28.72
2012	0.00	10.23	0.00	33.44	0.08	24.17

Emisiones de SO₂ del parque vehicular a gasolina en la zona de estudio (t/año).

Emisión SO ₂ (t) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1989 y anteriores	0.60	1.24	1.30	1.39	0.03	0.02
1990	0.22	0.10	0.11	0.06	0.00	0.00
1991	0.24	0.13	0.16	0.11	0.00	0.01
1992	0.30	0.19	0.30	0.10	0.00	0.00
1993	0.24	0.29	0.21	0.12	0.00	0.00
1994	0.39	0.42	0.26	0.19	0.01	0.00
1995	0.28	0.41	0.21	0.22	0.00	0.00
1996	0.31	0.55	0.19	0.23	0.01	0.00
1997	0.25	0.46	0.38	0.13	0.01	0.00
1998	0.31	0.62	0.45	0.26	0.01	0.00
1999	0.22	0.58	0.25	0.14	0.01	0.00
2000	0.06	0.18	0.11	0.00	0.01	0.00
2001	0.36	1.02	0.72	0.04	0.07	0.00
2002	0.61	1.94	0.62	0.09	0.20	0.00
2003	0.43	1.56	0.41	0.07	0.26	0.01
2004	0.39	1.13	0.30	0.07	0.60	0.01
2005	0.57	1.40	0.42	0.06	0.77	0.01
2006	0.90	1.82	0.34	0.04	2.03	0.01
2007	0.65	1.56	0.42	0.04	1.15	0.00
2008	0.55	1.49	0.38	0.05	2.35	0.00
2009	0.96	1.75	0.60	0.04	5.40	0.00
2010	0.70	0.91	0.30	0.02	6.11	0.00
2011	0.73	0.96	0.32	0.02	6.46	0.00
2012	0.64	0.83	0.27	0.01	5.61	0.00

Emisiones de SO₂ del parque vehicular a diésel en la zona de estudio (t/año).

Emisión SO ₂ (t) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1989 y anteriores	0.00	0.16	0.02	6.12	0.15	0.16
1990	0.00	0.02	0.00	0.43	0.00	0.08
1991	0.00	0.01	0.00	0.65	0.00	0.00
1992	0.00	0.01	0.00	0.80	0.01	0.19
1993	0.00	0.01	0.00	0.46	0.00	0.11
1994	0.00	0.03	0.00	1.79	0.00	0.34
1995	0.00	0.03	0.00	1.23	0.01	0.34
1996	0.00	0.02	0.00	1.13	0.03	0.19
1997	0.00	0.01	0.00	0.60	0.00	0.31
1998	0.00	0.06	0.00	1.43	0.01	0.82
1999	0.00	0.02	0.00	1.06	0.04	0.34
2000	0.00	0.00	0.01	0.24	0.01	0.03
2001	0.00	0.05	0.01	2.28	0.01	0.45
2002	0.00	0.17	0.00	6.62	0.01	1.31
2003	0.01	0.31	0.00	4.34	0.00	0.59
2004	0.01	0.42	0.00	3.64	0.01	0.24
2005	0.00	0.43	0.01	6.05	0.01	0.49
2006	0.00	0.69	0.02	7.33	0.03	1.24
2007	0.01	1.64	0.02	6.32	0.07	0.78
2008	0.00	1.16	0.03	6.05	0.11	0.24
2009	0.00	3.73	0.03	12.02	0.13	0.45
2010	0.00	2.65	0.00	4.54	0.03	1.35
2011	0.00	2.79	0.00	4.71	0.03	1.42
2012	0.00	2.40	0.00	4.03	0.02	1.20

Emisiones de PM₁₀ del parque vehicular a gasolina en la zona de estudio (t/año).

Emisión PM10 (t) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1989 y anteriores	0.10	0.21	0.23	0.51	0.01	0.00
1990	0.05	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00
1991	0.05	0.02	0.03	0.04	0.00	0.00
1992	0.06	0.03	0.05	0.04	0.00	0.00
1993	0.04	0.04	0.03	0.04	0.00	0.00
1994	0.06	0.06	0.04	0.07	0.00	0.00
1995	0.04	0.06	0.03	0.08	0.00	0.00
1996	0.05	0.08	0.03	0.08	0.00	0.00
1997	0.04	0.06	0.05	0.04	0.00	0.00
1998	0.05	0.10	0.07	0.09	0.00	0.00
1999	0.03	0.09	0.04	0.05	0.00	0.00
2000	0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00
2001	0.07	0.16	0.12	0.02	0.02	0.00
2002	0.11	0.31	0.10	0.05	0.05	0.00
2003	0.09	0.30	0.08	0.03	0.07	0.00
2004	0.08	0.22	0.06	0.03	0.16	0.00
2005	0.12	0.27	0.08	0.04	0.21	0.00
2006	0.19	0.35	0.07	0.03	0.55	0.00
2007	0.14	0.30	0.08	0.03	0.31	0.00
2008	0.12	0.28	0.07	0.03	0.63	0.00
2009	0.21	0.33	0.12	0.03	1.48	0.00
2010	0.15	0.17	0.06	0.01	1.68	0.00
2011	0.16	0.18	0.06	0.01	1.77	0.00
2012	0.14	0.15	0.05	0.01	1.54	0.00

Emisiones de PM₁₀ del parque vehicular a diésel en la zona de estudio (t/año).

Emisión PM10 (t) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1989 y anteriores	0.00	0.19	0.03	23.64	0.15	0.67
1990	0.00	0.03	0.00	1.66	0.00	0.33
1991	0.00	0.01	0.00	2.51	0.00	0.00
1992	0.00	0.02	0.00	3.08	0.01	0.80
1993	0.00	0.02	0.00	1.77	0.00	0.47
1994	0.00	0.03	0.00	6.91	0.00	1.46
1995	0.00	0.03	0.00	4.73	0.01	1.46
1996	0.00	0.03	0.00	4.84	0.03	0.80
1997	0.00	0.01	0.00	2.59	0.00	1.33
1998	0.00	0.08	0.00	6.14	0.01	3.53
1999	0.00	0.03	0.00	4.55	0.04	1.46
2000	0.00	0.00	0.01	1.11	0.01	0.13
2001	0.00	0.06	0.01	10.76	0.01	2.13
2002	0.00	0.24	0.00	27.02	0.01	5.36
2003	0.01	0.43	0.00	17.71	0.00	2.42
2004	0.01	0.57	0.00	14.88	0.01	0.98
2005	0.00	0.58	0.01	24.72	0.01	2.02
2006	0.00	0.94	0.03	29.95	0.04	5.07
2007	0.01	2.24	0.03	25.82	0.08	3.17
2008	0.00	1.58	0.03	23.77	0.14	0.94
2009	0.00	5.11	0.03	47.19	0.16	1.77
2010	0.00	3.62	0.00	17.80	0.04	5.31
2011	0.00	3.81	0.00	18.50	0.04	5.59
2012	0.00	3.28	0.00	15.82	0.03	4.70

Emisiones de PM_{2.5} del parque vehicular a gasolina en la zona de estudio (t/año).

Emisión PM _{2.5} (t) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1989 y anteriores	0.05	0.12	0.13	0.37	0.00	0.00
1990	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00
1991	0.02	0.01	0.02	0.03	0.00	0.00
1992	0.03	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00
1993	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00
1994	0.03	0.03	0.02	0.05	0.00	0.00
1995	0.02	0.03	0.02	0.06	0.00	0.00
1996	0.02	0.04	0.01	0.06	0.00	0.00
1997	0.02	0.04	0.03	0.03	0.00	0.00
1998	0.02	0.05	0.04	0.07	0.00	0.00
1999	0.02	0.05	0.02	0.03	0.00	0.00
2000	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
2001	0.03	0.09	0.06	0.02	0.01	0.00
2002	0.06	0.17	0.06	0.03	0.03	0.00
2003	0.05	0.17	0.04	0.03	0.04	0.00
2004	0.04	0.12	0.03	0.03	0.09	0.00
2005	0.06	0.15	0.05	0.03	0.12	0.00
2006	0.10	0.19	0.04	0.02	0.31	0.00
2007	0.07	0.17	0.05	0.02	0.18	0.00
2008	0.06	0.16	0.04	0.02	0.36	0.00
2009	0.11	0.19	0.07	0.02	0.79	0.00
2010	0.08	0.10	0.03	0.01	0.89	0.00
2011	0.08	0.11	0.03	0.01	0.95	0.00
2012	0.07	0.09	0.03	0.00	0.82	0.00

Emisiones de PM_{2.5} del parque vehicular a diésel en la zona de estudio (t/año).

Emisión PM2.5 (t) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1989 y anteriores	0.00	0.16	0.03	19.78	0.14	0.56
1990	0.00	0.02	0.00	1.39	0.00	0.28
1991	0.00	0.01	0.00	2.10	0.00	0.00
1992	0.00	0.02	0.00	2.58	0.01	0.67
1993	0.00	0.02	0.00	1.48	0.00	0.39
1994	0.00	0.03	0.00	5.78	0.00	1.22
1995	0.00	0.03	0.00	3.96	0.01	1.22
1996	0.00	0.02	0.00	4.05	0.02	0.67
1997	0.00	0.01	0.00	2.17	0.00	1.11
1998	0.00	0.07	0.00	5.13	0.01	2.95
1999	0.00	0.02	0.00	3.80	0.03	1.22
2000	0.00	0.00	0.01	0.93	0.01	0.11
2001	0.00	0.06	0.01	9.00	0.01	1.78
2002	0.00	0.21	0.00	22.62	0.01	4.48
2003	0.01	0.37	0.00	14.82	0.00	2.02
2004	0.01	0.50	0.00	12.45	0.01	0.82
2005	0.00	0.51	0.01	20.69	0.01	1.69
2006	0.00	0.82	0.02	25.07	0.03	4.24
2007	0.01	1.96	0.02	21.61	0.07	2.65
2008	0.00	1.38	0.03	19.89	0.12	0.79
2009	0.00	4.46	0.03	39.51	0.14	1.48
2010	0.00	3.16	0.00	14.91	0.03	4.45
2011	0.00	3.33	0.00	15.49	0.03	4.68
2012	0.00	2.86	0.00	13.25	0.02	3.94

Emisiones de CO₂ del parque vehicular a gasolina en la zona de estudio (t/año).

Emisión CO2 (t) Gasolina						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Motos	Otra clase
1989 y anteriores	2195.78	4007.48	4228.51	4255.26	97.63	88.18
1990	793.52	329.73	340.60	184.53	0.00	0.00
1991	727.70	359.32	434.81	324.32	4.03	28.31
1992	930.01	519.35	797.15	307.54	4.03	7.08
1993	736.76	788.09	561.63	369.05	16.10	0.00
1994	1207.80	1141.37	703.54	587.13	54.35	7.08
1995	872.64	1114.20	576.72	665.41	16.10	7.08
1996	950.14	1485.59	503.25	629.06	30.20	0.00
1997	768.97	1252.09	1026.63	347.24	26.17	0.00
1998	950.14	1900.27	1397.02	724.68	26.17	0.00
1999	668.32	1767.41	768.97	377.44	44.29	0.00
2000	177.14	467.30	280.38	0.00	31.40	0.00
2001	1139.36	2695.98	1906.60	150.98	246.39	9.46
2002	1924.43	5102.67	1633.41	343.13	744.00	9.46
2003	1578.19	4937.03	1302.12	251.63	973.49	23.64
2004	1243.53	3579.69	934.03	251.63	2207.86	36.60
2005	1823.02	4435.50	1338.93	279.08	2833.50	24.51
2006	2894.95	5742.23	1072.07	187.58	7476.28	24.51
2007	2098.55	4937.03	1329.73	187.58	4229.72	0.00
2008	1758.10	4702.94	1192.85	225.09	8662.34	11.11
2009	3107.07	5523.10	1910.05	197.64	19 902.13	0.00
2010	2241.98	2878.01	962.79	87.84	22 494.07	11.76
2011	2364.27	3033.30	1004.20	87.84	23 803.32	11.76
2012	2051.75	2619.20	859.26	43.92	20 653.38	0.00

Emisiones de CO₂ del parque vehicular a diésel en la zona de estudio (t/año).

Emisión CO ₂ (t) Diésel						
Modelo	Automóviles	Camionetas y furgonetas	Jeeps	Pesados	Otra clase	Buses
1989 y anteriores	0.00	452.93	72.47	17 882.15	439.79	452.93
1990	0.00	50.33	0.00	1258.13	0.00	226.46
1991	0.00	16.78	0.00	1895.58	0.00	0.00
1992	0.00	41.94	0.00	2331.73	15.53	543.51
1993	0.00	41.94	0.00	1342.00	0.00	317.05
1994	0.00	83.88	0.00	5228.21	0.00	996.44
1995	0.00	83.88	0.00	3578.67	19.46	996.44
1996	10.07	65.76	0.00	3296.29	73.16	543.51
1997	0.00	18.79	0.00	1761.38	0.00	905.85
1998	0.00	187.88	0.00	4176.98	20.90	2400.50
1999	0.00	65.76	0.00	3094.99	104.52	996.44
2000	0.00	0.00	30.20	686.25	22.46	82.35
2001	0.00	136.88	30.20	6656.63	22.46	1317.60
2002	8.63	507.28	0.00	19 317.94	22.46	3829.28
2003	23.01	915.92	0.00	12 661.31	0.00	1729.35
2004	20.13	1217.87	9.20	10 636.88	23.20	699.98
2005	0.00	1242.31	23.01	17 670.94	24.02	1441.13
2006	8.05	2001.50	55.21	21 411.00	84.07	3623.40
2007	20.13	4788.06	55.21	18 460.13	192.40	2264.63
2008	0.00	3378.96	73.33	17 670.94	324.74	699.98
2009	0.00	10 898.96	73.33	35 101.69	389.69	1317.60
2010	0.00	7735.67	9.78	13 244.63	90.93	3952.80
2011	0.00	8138.27	9.78	13 759.31	90.93	4158.68
2012	0.00	7002.36	0.00	11 769.19	64.95	3499.88

ANEXO B

Factores de emisiones evaporativas de gasolineras y aporte porcentual de cada actividad.

Etapas del proceso	Actividad	Factor de emisión (mg/l)	Aporte porcentual (%)
Llenado de tanque subterráneo	Llenado subterráneo	880	36.67
	Respiración y vaciado de tanque subterráneo	120	5.00
	Pérdidas por desplazamiento	1320	55.00
Operaciones de llenado del vehículo	Derrame	80	3.33
Total		2400	100

Emisiones de COVs anuales de gasolineras en zona de estudio (1/2).

Nombre o ubicación	Emisión (t/año)
Orion	33.17
Joya de los Sachas	19.59
Miraflores	19.59
Km 3 vía al Coca. Barrio Miraflores	19.59
Av rafael Andrade Chacón	19.59
Transister	17.05
Km 7.5 via Baeza Tena	17.05
Avelino	16.23
Chaco	16.23
Nueva Loja	14.73
Lago Agrio I	14.73
Lago Agrio II	14.73
Interoceánica	14.73
Vía al Aguarico, intersección con Araldo Vaca	14.73
Av Quito entre Espejo y Cuyabeno	14.73
km 10 vía Lago Agrio a Quito	14.73
Precooperativa San Isidro vía Colombia a 200 mts de la fábrica de ladrillo	14.73
Vía a Quito km 3	14.73
Alberto Zambrano km 2 vía Puyo a Baños	14.49
Av. 20 de julio no. 885 y Cotopaxi	14.49
Celso Marín y Curaray. Barrio La Liebre	14.49
Av Alberto Zambrano y Amazonas	14.49
Vía al Tena km 41.5	14.49
Alberto Zambrano km 2.5. vía Ambato	14.49
El Proyecto	9.68
Estación Sur o Este Gas Shushufindi	9.68
Estación Sur Gas Shushufindi	9.68
Estación Norte Gas Shushufindi	9.68
15 de noviembre y Av. Pano	9.15
Via Tena Puerto Napo a cinco cuadras de la ESPEA	9.15
Federico Montero y José Gabriel Espinoza	9.15
Km 1 vía Lago Agrio, frente a campamento Petrotech	9.15
Lumbaqui	8.02
Gasolinera sin nombre	7.92
Rio Coca	7.92
Vía Coca a Lago Agrio	7.92
Vía Payamino a Loreto	7.92

Emisiones anuales de estaciones de servicio en zona de estudio (2/2).

Nombre o ubicación	Emisión (t/año)
Av. De los fundadores vía a Lago Agrio	7.92
Vía Puyo a Baños	7.5
Archidona	5.99
Av. Napo entrada a Archidona	5.99
Y de la entrada Archidona via al Tena	5.99
Total	546.02

ANEXO C

Volumen consumido por generadoras eléctricas en la zona de estudio en miles de galones (1/4) (CONELEC, 2012).

Nombre	Empresa	Unidad	Diésel	Residuo	Crudo	Gas natural	LPG
Sarayacu	Agip	MCI	6		806		
CPF	Agip	MCI	1686				
Agip oil-CPF	Agip	MCI	464		12 512		
Lago Agrio Station	Andes Petro	MCI	6				
Sonia A	Andes Petro	MCI	210				
Mahogany	Andes Petro	MCI	191				
Campamento Base	Andes Petro	MCI	53				
Dorine Battery	Andes Petro	MCI	790				
Lago Agrio-LTF	Andes Petro	MCI	8				
Mariann Battery	Andes Petro	MCI	278				
Fanny 60	Andes Petro	MCI	130				
Mariann 4ª	Andes Petro	MCI	502				
Chorongo	Andes Petro	MCI	62				
Mariann 5-8	Andes Petro	MCI	345				
Mariann Vieja	Andes Petro	MCI	505				
Mariann 6	Andes Petro	MCI	44				
Mariann 9	Andes Petro	MCI	211				
Tarapuy	Andes Petro	MCI	75				
TPP	Andes Petro	MCI	2670	5626		1496	6296
Fanny 50	Andes Petro	MCI	196				
Fanny 18B2	Andes Petro	MCI	145				
Estacion Dayuma	Andes Petro	MCI	10				
Pindo	Andes Petro	MCI	119				

Volumen consumido por generadoras eléctricas en la zona de estudio en miles de galones (2/4) (CONELEC, 2012).

Nombre	Empresa	Unidad	Diésel	Residuo	Crudo	Gas natural	LPG
Hormiguero D	Andes Petro	MCI	804				
Hormiguero Sur	Andes Petro	MCI	568				
Hormiguero A	Andes Petro	MCI	198				
Hormiguero B	Andes Petro	MCI	557				
Nantu C	Andes Petro	MCI	262				
Nantu E	Andes Petro	MCI	6				
Nantu Battery	Andes Petro	MCI	64				
Nantu B	Andes Petro	MCI	335				
CDP	Andes Petro	MCI	66				
Secoya	CELEC Termopichincha	MCI	2628				
Jivino I	CELEC Termopichincha	MCI	6				
Jivino II	CELEC Termopichincha	MCI	10				
Jivino III	CELEC Termopichincha	MCI	282				
Sacha	CELEC Termopichincha	MCI	135	4400			
Celso Castellanos II	CELEC Termopichincha	MCI	6				
Pto. El Carmen	CNEL Sucumbíos	MCI	245				
Celso Castellanos	CNEL Sucumbíos	MCI	289				
Tiputini	CNEL Sucumbíos	MCI	61				
Nvo. Rocafuerte	CNEL Sucumbíos	MCI	33				
Taisha	EE Centro Sur		32				
Paramo	OCP	MCI	6				
Sardinas	OCP	MCI	10		571		
Cayagama	OCP	MCI	397				
Amazonas	OCP	MCI	6		691		
Yuralpa	Petroamazonas	MCI	18				
Victor hugo Ruales	Petroamazonas	MCI	13		1007		
Lago Agrio Central	Petroamazonas	MCI	2752				
Cuyabeno	Petroamazonas	MCI	1943				
Secoya II	Petroamazonas	MCI			4026	77	
Sucumbios	Petroamazonas	MCI	2			523	
Guanta	Petroamazonas	MCI	724				
Palo Azul PGE	Petroamazonas	MCI	573		1108	1789	
SRF Shushufindi	Petroamazonas	MCI	99				

Volumen consumido por generadoras eléctricas en la zona de estudio en miles de galones (3/4) (CONELEC, 2012).

Nombre	Empresa	Unidad	Diésel	Residuo	Crudo	Gas natural	LPG
Shushufindi	Petroamazonas	MCI	293			4357	
JUSTICE shushufindi Sur	Petroamazonas	MCI	2499				
Cedros	Petroamazonas	MCI	62				
Coca	Petroamazonas	MCI	541				
Payamino	Petroamazonas	MCI	548				
Gacela	Petroamazonas	MCI	277				
Lobo	Petroamazonas	MCI	240				
JUSTICE Culebra	Petroamazonas	MCI	613				
Paka Norte	Petroamazonas	MCI	603				
Angel Norte	Petroamazonas	MCI	15				
Yanaq Oeste	Petroamazonas	MCI	474				
Yanaq Este	Petroamazonas	MCI	933				
Aguajal	Petroamazonas	MCI	258				
Yamanunka	Petroamazonas	MCI				234	
Limoncocha	Petroamazonas	MCI				1800	
ARCOLANDS Shushufindi Central	Petroamazonas	MCI	562				
Pakay	Petroamazonas	MCI	414				
Jivino A	Petroamazonas	MCI	862				
Jibino B	Petroamazonas	MCI	619				
Laguna	Petroamazonas	MCI	923				
Itaya B	Petroamazonas	MCI	518				
Itaya A	Petroamazonas	MCI	1383				
Indillana	Petroamazonas	MCI	931				
Concordia	Petroamazonas	MCI	230				
Pañayacu	Petroamazonas	MCI	184				
Oso	Petroamazonas	MCI	3006				
Jaguar	Petroamazonas	MCI	48				
Mono	Petroamazonas	MCI	586				
RS ROTH Aguarico	Petroproducción	MCI	956				
RS ROTH shushufindi Drago N1	Petroproducción	MCI	473				
Repsol YPF-SSFD	Repsol	TG	1811				
Repsol YPF-NPF-2	Repsol	MCI	7			2797	
Repsol YPF-NPF-1	Repsol	MCI	19 597				

Volumen consumido por generadoras eléctricas en la zona de estudio en miles de galones (4/4) (CONELEC, 2012).

Nombre	Empresa	Unidad	Diésel	Residuo	Crudo	Gas natural	LPG
Repsol YPF-SPF-3	Repsol	MCI			21 671		
PBH-PAR12	Sipac	MCI	301			53	
PBH-Estacion	Sipac	MCI	0				
PBH-HUA02	Sipac	MCI	59				
MDC-CPF	Sipac	MCI				1928	
Total			65 406	10 026	42 395	15 052	6296

Nota: MCI es motor de combustión interna, TG es Turbogas.

Factores de emisión de contaminantes para cada combustible

Contaminante	Diésel	Residuo	Crudo	GLP	Gas Natural
	FE [g/gal]	FE [g/gal]	FE [g/gal]	FE [g/gal]	FE [g/gal]
NO _x	185.00	16.20	16.20	9.79	7.27
CO	48.90	0.81	0.81	3.11	3.21
COV	20.20	22.50	22.50	0.03	3.89
SO ₂	0.37	96.90	111.00	0.00	0.02
PM ₁₀	2.85	6.37	6.37	0.26	0.29
PM _{2.5}	1.18	3.88	4.33	0.26	0.29
CO ₂	10 000.00	11 700.00	11 700.00	5780.00	5280.00

Emisiones de contaminantes por parte de generadoras eléctricas (t/año) (1/4)

Nombre	Empresa	NO _x	CO	COV	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO ₂
Sarayacu	Agip	14.27	0.49	18.18	89.19	4.81	0.94	9515.54
CPF	Agip	310.14	82.38	33.92	0.62	4.81	1.99	16 859.39
Agip oil-CPF	Agip	288.42	25.38	289.50	1384.51	75.75	15.00	151 328.88
Lago Agrio Station	Andes Petro	1.05	0.28	0.11	0.00	0.02	0.01	56.81
Sonia A	Andes Petro	38.57	10.24	4.22	0.08	0.60	0.25	2096.55
Mahogany	Andes Petro	35.20	9.35	3.85	0.07	0.55	0.23	1913.53
Campamento Base	Andes Petro	9.81	2.61	1.07	0.02	0.15	0.06	533.26
Dorine Battery	Andes Petro	145.39	38.62	15.90	0.29	2.25	0.93	7903.34
Lago Agrio-LTF	Andes Petro	1.39	0.37	0.15	0.00	0.02	0.01	75.31
Mariann Battery	Andes Petro	51.20	13.60	5.60	0.10	0.79	0.33	2783.33
Fanny 60	Andes Petro	23.83	6.33	2.61	0.05	0.37	0.15	1295.15
Mariann 4A	Andes Petro	92.34	24.53	10.10	0.19	1.43	0.59	5019.69

Emisiones de contaminantes por parte de generadoras eléctricas (t/año) (2/4)

Nombre	Empresa	NOx	CO	COV	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO ₂
Chorongo	Andes Petro	11.37	3.02	1.24	0.02	0.18	0.07	618.27
Mariann 5-8	Andes Petro	63.41	16.84	6.94	0.13	0.98	0.41	3447.01
Mariann Vieja	Andes Petro	92.90	24.68	10.16	0.19	1.44	0.60	5049.90
Mariann 6	Andes Petro	8.11	2.15	0.89	0.02	0.13	0.05	440.85
Mariann 9	Andes Petro	38.76	10.30	4.24	0.08	0.60	0.25	2107.15
Estacion Dayuma	Andes Petro	1.91	0.51	0.21	0.00	0.03	0.01	103.81
Pindo	Andes Petro	21.91	5.82	2.40	0.04	0.34	0.14	1191.14
Hormiguero D	Andes Petro	147.85	39.27	16.17	0.30	2.29	0.95	8036.95
Hormiguero Sur	Andes Petro	104.47	27.75	11.43	0.21	1.62	0.67	5678.87
Hormiguero A	Andes Petro	36.39	9.67	3.98	0.07	0.56	0.23	1978.23
Hormiguero B	Andes Petro	102.42	27.21	11.20	0.21	1.59	0.66	5567.86
Nantu C	Andes Petro	48.17	12.80	5.27	0.10	0.75	0.31	2618.71
CDP	Andes Petro	12.12	3.22	1.33	0.02	0.19	0.08	659.08
Celso Castellanos II	CELEC-Termopichincha	1.10	0.29	0.12	0.00	0.02	0.01	59.81
Secoya	CELEC-Termopichincha	483.57	128.45	52.89	0.97	7.50	3.11	26 287.11
Jivino I	CELEC-Termopichincha	1.16	0.31	0.13	0.00	0.02	0.01	63.21
Jivino II	CELEC-Termopichincha	1.80	0.48	0.20	0.00	0.03	0.01	97.71
Jivino III	CELEC-Termopichincha	51.81	13.76	5.67	0.10	0.80	0.33	2816.53
Sacha	CELEC-Termopichincha	96.22	7.54	101.24	486.92	23.82	17.25	52 938.31
Pto. El Carmen	CNEL-Sucumbíos	45.04	11.96	4.93	0.09	0.70	0.29	2448.19
Celso Castellanos	CNEL-Sucumbíos	53.14	14.12	5.81	0.11	0.82	0.34	2888.94
Tiputini	CNEL-Sucumbíos	11.17	2.97	1.22	0.02	0.17	0.07	607.07
Nvo. Rocafuerte	CNEL-Sucumbíos	6.16	1.64	0.67	0.01	0.10	0.04	334.94
Taisha	EE Centro Sur	5.81	1.54	0.64	0.01	0.09	0.04	315.84
Paramo	OCP	1.05	0.28	0.12	0.00	0.02	0.01	57.21
Sardinas	OCP	11.07	0.60	12.99	63.23	3.43	0.67	6796.81
Cayagama	OCP	73.07	19.41	7.99	0.15	1.13	0.47	3972.37
Amazonas	OCP	12.28	0.43	15.60	76.49	4.13	0.81	8162.32
Yuralpa	Petroamazonas	3.34	0.89	0.37	0.01	0.05	0.02	181.72
Victor Ruales	Hugo Petroamazonas	18.76	0.86	22.82	111.47	6.03	1.18	11 942.00
Lago Central	Agrio Petroamazonas	506.31	134.49	55.38	1.02	7.85	3.25	27 523.26
Cuyabeno	Petroamazonas	357.42	94.94	39.09	0.72	5.54	2.30	19 429.40

Emisiones de contaminantes por parte de generadoras eléctricas (t/año) (3/4)

Nombre	Empresa	NOx	CO	COV	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO ₂
Secoya II	Petroamazonas	65.84	1.09	90.42	445.48	23.97	4.67	47 561.53
Sucumbíos	Petroamazonas	3.75	1.58	1.83	0.01	0.14	0.14	2444.06
Guanta	Petroamazonas	133.27	35.40	14.58	0.27	2.07	0.86	7244.56
Palo Azul PGE	Petroamazonas	134.81	33.28	42.45	122.87	8.68	2.41	27 008.40
JUSTICE shushufindi Sur	Petroamazonas	459.73	122.12	50.28	0.92	7.13	2.95	24 991.06
Cedros	Petroamazonas	11.40	3.03	1.25	0.02	0.18	0.07	619.67
Coca	Petroamazonas	99.46	26.42	10.88	0.20	1.54	0.64	5406.74
Payamino	Petroamazonas	100.84	26.79	11.03	0.20	1.56	0.65	5481.95
Gacela	Petroamazonas	50.91	13.52	5.57	0.10	0.79	0.33	2767.63
Lobo	Petroamazonas	44.06	11.70	4.82	0.09	0.68	0.28	2395.38
JUSTICE Culebra	Petroamazonas	112.76	29.95	12.33	0.23	1.75	0.72	6129.43
Paka Norte	Petroamazonas	110.91	29.46	12.13	0.22	1.72	0.71	6029.31
Angel Norte	Petroamazonas	2.68	0.71	0.29	0.01	0.04	0.02	145.72
Yanaq Oeste	Petroamazonas	87.23	23.17	9.54	0.17	1.35	0.56	4741.86
Yanaq Este	Petroamazonas	171.68	45.60	18.78	0.34	2.66	1.10	9332.50
Aguajal	Petroamazonas	47.55	12.63	5.20	0.10	0.74	0.31	2584.91
Yamanunka	Petroamazonas	1.49	0.66	0.80	0.00	0.06	0.06	1082.27
Limoncocha	Petroamazonas	11.47	5.07	6.14	0.04	0.46	0.46	8335.65
Arcolands Shushufindi Central	Petroamazonas	103.32	27.45	11.30	0.21	1.60	0.66	5616.66
Pakay	Petroamazonas	76.09	20.21	8.32	0.15	1.18	0.49	4136.39
Jivino A	Petroamazonas	158.51	42.10	17.34	0.32	2.46	1.02	8616.62
Jibino B	Petroamazonas	113.90	30.26	12.46	0.23	1.77	0.73	6191.83
Laguna	Petroamazonas	169.83	45.11	18.58	0.34	2.63	1.09	9232.19
Itaya B	Petroamazonas	95.32	25.32	10.43	0.19	1.48	0.61	5181.51
Itaya A	Petroamazonas	254.37	67.57	27.82	0.51	3.94	1.63	13 827.74
Indillana	Petroamazonas	171.28	45.49	18.73	0.34	2.65	1.10	9310.60
Concordia	Petroamazonas	42.40	11.26	4.64	0.09	0.66	0.27	2304.97
Pañayacu	Petroamazonas	33.84	8.99	3.70	0.07	0.52	0.22	1839.42
Oso	Petroamazonas	552.97	146.88	60.48	1.11	8.57	3.55	30 059.66
Jaguar	Petroamazonas	8.78	2.33	0.96	0.02	0.14	0.06	477.56
Mono	Petroamazonas	107.88	28.66	11.80	0.22	1.67	0.69	5864.59
RS ROTH Aguarico	Petroproducción	175.85	46.71	19.23	0.35	2.73	1.13	9559.23
Repsol YPF-SSFD	Repsol	333.27	88.53	36.45	0.67	5.17	2.14	18 116.94
RS ROTH Shushufindi Drago	Petroproducción	87.05	23.12	9.52	0.17	1.35	0.56	4732.16

Emisiones de contaminantes por parte de generadoras eléctricas (t/año) (4/4)

Nombre	Empresa	NO _x	CO	COV	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO ₂
Repsol YPF-SPF-3	Repsol	351.73	4.69	485.26	2397.77	128.91	25.04	254 075.65
Repsol YPF-NPF-2	Repsol	19.14	8.23	9.69	0.06	0.73	0.72	13 023.25
Repsol YPF-NPF-1	Repsol	3605.44	957.69	394.34	7.23	55.88	23.17	195 993.39
PBH-Estación	Sipac	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	3.80
PBH-HUA02	Sipac	10.83	2.88	1.18	0.02	0.17	0.07	588.87
MDC-CPF	Sipac	12.29	5.43	6.58	0.04	0.49	0.49	8927.71
Total		13 041.92	3269.72	2541.47	6070.34	497.59	170.73	1 374 836.55

ANEXO D

Factores de emisión de contaminantes comunes para refinerías (EEA, 2010).

Combustible	Contaminante o GEI	Factor de emisión (kg/TJ)
Crudo reducido o de alimentación	NO _x	125
	CO	15
	COV	0.2
	COV*	2.3
	SO ₂	821
	PM ₁₀	15
	PM _{2.5}	9
	CO ₂	73 300

*Emisiones evaporativas de COVs.